

**TUGAS AKHIR**  
**KS 1701**

**STUDI EKSPERIMENTAL TENTANG *PREDICTIVE*  
*MAINTENANCE* PADA *CONTROL VALVE* SISTEM  
INSTALASI TURBIN UAP DI PJB 2 - PT. PLN  
GRESIK - SURABAYA**



RSSP  
621-165  
Han  
S-1  
2000

Oleh :

**HARIS HANDIKO**  
**NRP : 4294 100 015**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2000**

15.017/H/02

29/09/2000

H

## LEMBAR PENGESAHAN

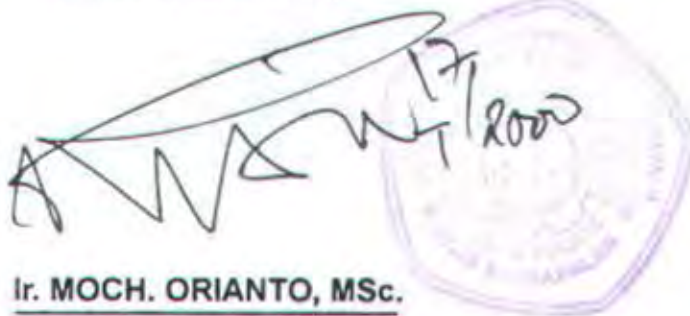
# STUDI EKSPERIMENTAL TENTANG *PREDICTIVE MAINTENANCE* PADA *CONTROL VALVE* SISTEM INSTALASI TURBIN UAP DI PJB 2 - PT. PLN GRESIK - SURABAYA

## TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Ir. MOCH. ORIANTO, MSc.

NIP. 130 786 955

Dosen Pembimbing II



Ir. MADE ARIANA, Mt.

NIP. 132 133 971

SURABAYA  
2000

## LEMBAR PENGESAHAN

# STUDI EKSPERIMENTAL TENTANG *PREDICTIVE MAINTENANCE* PADA *CONTROL VALVE* SISTEM INSTALASI TURBIN UAP DI PJB 2 - PT. PLN GRESIK - SURABAYA

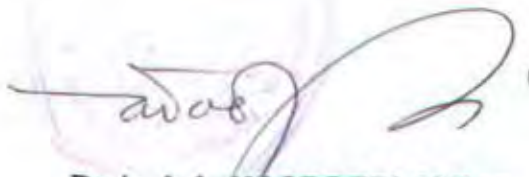
## TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Ketua Jurusan  
Teknik Sistem Perkapalan  
FTK - ITS Surabaya



Dr. Ir. A.A. MASROERI, M.Eng.

NIP. 131 407 591

SURABAYA

2000



## **ABSTRAK**

*Pada power plant, kontumitas aliran dari fluida kerja harus tetap dijaga optimal dalam melayani kebutuhan sistem. Oleh karenanya keandalan peralatan-peralatan yang menyusun sistem harus bekerja sesuai dengan instruksi manualnya. Kegagalan dan kesalahan peralatan secara mendadak atau diluar perkiraan dapat mempengaruhi kinerja sistem keseluruhan.*

*Tidak terkecuali control valve sebagai salah satu peralatan kontrol dalam sistem aliran fluida harus dipantau kondisinya karena fungsinya yang sangat penting. Karena lamanya pemakaian atau adanya kerusakan konstruksi dalam control valve, maka penurunan kondisi control valve pasti terjadi. Dalam percobaan pengukuran ini akan dicoba untuk memprediksi tingkat kerusakan control valve untuk mengembangkan program perawatan prediktif, sehingga kerusakan yang menyebabkan biaya tertinggi hampir terjadi dan mendadak dapat dihindari.*

*Percobaan ini menerapkan alat ukur getaran pada mesin-mesin berputar (Machinery Analyzer Model 2120) untuk memantau kondisi control valve. Hal ini dikembangkan atas dasar suatu hipotesa bahwa getaran dinding pipa disekitar control valve disebabkan oleh fluktuasi tekanan akustik secara acak yang digenerasikan oleh control valve dimana tekanan ini akan berubah besarnya tergantung seberapa jauh penurunan kondisi control valve.*



## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

### **STUDI EKSPERIMENTAL TENTANG *PREDICTIVE MAINTENANCE* PADA *CONTROL VALVE* SISTEM INSTALASI TURBIN UAP**

#### **DI PJB 2 – PT.PLN GRESIK – SURABAYA**

Saya sadar bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua sekalipun sedikit, Amien.

Surabaya, Pebruari 2000

**Haris Handiko**  
4294 100 015

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tak ada gading yang tak retak. Saya sadar bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna. Dan jika ada kesalahan dalam penelitian maka sayalah yang paling bertanggungjawab untuk menerimanya dan jika ada kebaikan itu semua karena ridho Allah SWT dan bantuan berbagai pihak.

Terima kasih yang sungguh besar kepada kedua orangtuaku dan kakak-kakakku atas segalanya serta Qeisha atas kelucuannya dan gangguannya, terima kasih juga kepada Bapak Ir. Moch. Orianto, MSc dan Ir. Made Ariana, Mt atas ide, saran, dan bimbingannya selama proses pengerjaan penelitian ini.

Terima kasih kepada Dr. Ir. A.A. Masroeri, Meng sebagai dosen wali dan ketua jurusan Teknik Sistem Perkapalan-ITS yang telah memberi dorongan agar bisa cepat menyelesaikan kuliah dan sebagian besar dosen saya yang telah banyak memberikan pengetahuan tentang sistem dan permesinan dikapal terutama kepada Pak Taufik, Pak Trika, dan Pak Dinar atas persahabatan dan kerjasamanya.

Terima kasih kepada Ir. Adi Firmanto dan Ir. Teguh Widijanto yang banyak membantu dan memberi kemudahan dalam pengambilan data di PT. PLN PJB2 Gresik-Surabaya, khususnya kepada Mas Kholik dan Mas Basuki yang dengan ikhlas membantu saya dalam mendapatkan data lapangan.

Terima kasih kepada rekan-rekan semua di ME '94, Teddy, Wawan, Arochon, Hari, Dueng, dan Cak Nur dll dimana saya kuliah dan kebersamaannya

selama ini, dan terima kasih yang paling spesial kepada Bedung, Irdam, Mursid, David, Anwar, dan Modot atas kebersamaannya, guyonannya, gangguannya, dan bantuannya baik materiil maupun non materiil. Kalian terlalu baik bagi saya. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian.

Akhirnya terima kasih, kepada semua orang yang telah membantu maupun mengganggu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat sekalipun *sedikit* saja.

Penulis



## DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
 BAB I	
PENDAHULUAN	I-1
1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Perumusan Masalah	I-2
1.3. Batasan Masalah	I-3
1.4. Metodologi Penyelesaian	I-4
1.5. Tujuan Dan Manfaat Tugas Akhir	I-5
 BAB II	
CONTROL VALVE	II-1
2.1. Konstruksi Umum Control Valve	II-1
2.2. Problema Umum Control Valve	II-2
2.3. Kebisingan Control Valve	II-9
2.3.1. Getaran Mekanik	II-10
2.3.2. Prediksi Kebisingan Hidrodinamis	II-11
2.3.3. Prediksi Kebisingan Aerodinamis	II-15
2.4. Frekuensi Puncak	II-21
2.5. Prediksi Kebisingan Control Valve Dari Getaran Pipa	II-22
 BAB III	
PREDICTIVE MAINTENANCE	III-1
3.1. Teknik Pemantauan	III-1
3.2. Pengukuran Sinyal Getaran	III-4
3.2.1. Dasar-dasar Sinyal Getaran	III-4
3.2.2. Pengukuran Sinyal Getaran	III-6
3.2.3. Sensor Getaran	III-13

3.2.4.	Analisis Sinyal Getaran	III-18
3.2.4.1.	Sinyal Domain Waktu	III-18
3.2.4.2.	Data Domain Frekuensi	III-19
3.2.5	Penganalisis Spektrum	III-22
BAB IV	METODOLOGI DAN INSTRUMENTASI	IV-1
4.1.	Spesifikasi Instrumentasi Utama	IV-1
4.2.	Prosedur Percobaan Dan Pengukuran Control Valve	IV-3
4.3.	Sekilas Tentang Master Trend For Windows	IV-5
BAB V	ANALISA DAN PEMBAHASAN	V-1
BAB VI	KESIMPULAN	VI-1
DAFTAR PUSTAKA		xiv
LAMPIRAN		xv

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	II-10
Tabel 2.2. Gas Property Factor $SL_g$	II-17



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen Utama Control Valve	II-2
Gambar 2.2. Lokasi Vena Contracta Dari Titik Orifice Restriction Dan Kurva Tekanan Dan Kurva Kecepatan	II-4
Gambar 2.3. Flow Curve Daripada Flashing Characteristic	II-6
Gambar 2.4. Typical Apperance Daripada Flashing Damage	II-7
Gambar 2.5. Flow Curve Daripada Karakteristik Kavitasi	II-8
Gambar 2.6. Typical Apperance Daripada Kerusakan Kaviatsi	II-8
Gambar 2.7. Prediksi Kebisingan Aerodinamis Untuk Katup Konvensional	II-18
Gambar 2.8. Efisiensi Akustik Peralatan LO-DB	II-19
Gambar 2.9. Faktor $SL_{ij}$ Katup LO-DB	II-20
Gambar 3.1. Fenomena Getaran, Sensor Getaran Dan Alat Ukur	III-8
Gambar 3.2. Amplitudo Sinyal Getaran	III-10
Gambar 3.3. Pengukuran Spektrum Frekuensi Untuk Diagnosis Kerusakan	III-12
Gambar 3.4. Peta Spektrum Frekuensi Untuk Diagnosis Kerusakan	III-12
Gambar 3.5. Rancangan, Tipe Dan Daerah Frekuensi Accelerometer	III-15
Gambar 3.6. Sinyal Percepatan, Kecepatan Dan Simpangan Untuk Amplitudo Getaran Tertentu	III-16
Gambar 3.7. Sinyal (3) Sebagai Kombinasi Sinyal (1) Dan Sinyal (2)	III-18
Gambar 3.8. Hubungan Antara Data Domain Waktu Dengan Domain Frekuensi	III-19
Gambar 3.9. Data Domain Frekuensi Dari Sinyal Getaran Mesin	III-20
Gambar 3.10. Sinyal Getaran Dalam Domain Waktu Menunjukkan Sinyal Dominan Saja	III-21
Gambar 3.11. Sinyal Domain Waktu Dan Domain Frekuensinya	III-22
Gambar 3.12. Tipe Penganalisa Spektrum	III-25
Gambar 4.1. Skema Pengujian Control Valve	IV-3

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

#### TABEL

Tabel 1	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 1 (Low)
Tabel 2	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 1 (Hight)
Tabel 3	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 2 (Low)
Tabel 4	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 2 (Hight)
Tabel 5	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 4 (Low)
Tabel 6	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 4 (Hight)
Tabel 7	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 1 (Low)
Tabel 8	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 1 (Hight)
Tabel 9	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 2 (Low)
Tabel 10	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 2 (Hight)
Tabel 11	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 4 (Low)
Tabel 12	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 4 (Hight)
Tabel 13	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 1 (Low)
Tabel 14	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 1 (Hight)
Tabel 15	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 2 (Low)
Tabel 16	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 2 (Hight)
Tabel 17	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 4 (Low)
Tabel 18	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 4 (Hight)
Tabel 19	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 1 (Low)
Tabel 20	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 1 (Hight)
Tabel 21	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 2 (Low)
Tabel 22	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 2 (Hight)
Tabel 23	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 4 (Low)
Tabel 24	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 4 (Hight)
Tabel 25	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 1 (Low)
Tabel 26	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 1 (Hight)
Tabel 27	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 2 (Low)
Tabel 28	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 2 (Hight)

Tabel 29	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 4 (Low)
Tabel 30	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 4 (Hight)
Tabel 31	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 1 (Low)
Tabel 32	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 1 (Hight)
Tabel 33	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 2 (Low)
Tabel 34	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 2 (Hight)
Tabel 35	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 4 (Low)
Tabel 36	S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 4 (Hight)



## GAMBAR

- Gambar 1 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Right 1 Low)
- Gambar 2 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Right 1 Hight)
- Gambar 3 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Right 2 Low)
- Gambar 4 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Right 2 Hight)
- Gambar 5 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Right 4 Low)
- Gambar 6 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Right 4 Hight)
- Gambar 7 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Left 1 Low)
- Gambar 8 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Left 1 Hight)
- Gambar 9 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Left 2 Low)
- Gambar 10 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Left 2 Hight)
- Gambar 11 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Left 4 Low)
- Gambar 12 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 1.3 Left 4 Hight)
- Gambar 13 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Right 1 Low)
- Gambar 14 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Right 1 Hight)
- Gambar 15 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Right 2 Low)
- Gambar 16 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Right 2 Hight)
- Gambar 17 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Right 4 Low)
- Gambar 18 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Right 4 Hight)
- Gambar 19 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Left 1 Low)
- Gambar 20 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Left 1 Hight)
- Gambar 21 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Left 2 Low)
- Gambar 22 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Left 2 Hight)
- Gambar 23 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Left 4 Low)
- Gambar 24 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.2 Left 4 Hight)
- Gambar 25 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Right 1 Low)
- Gambar 26 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Right 1 Hight)
- Gambar 27 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Right 2 Low)
- Gambar 28 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Right 2 Hight)
- Gambar 29 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Right 4 Low)
- Gambar 30 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Right 4 Hight)
- Gambar 31 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Left 1 Low)
- Gambar 32 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Left 1 Hight)
- Gambar 33 Perbandingan SPL Perhitungan Dan Pengukuran (HRSG 3.3 Left 2 Low)

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

*Control valve* merupakan *Final Element Control* dalam sistem aliran fluida baik air, uap, dan gas. Dalam sebuah power plant merupakan salah satu komponen peralatan yang mempunyai peranan sangat penting untuk mengatur fluida kerja dalam melayani kebutuhan sistem. Perubahan kondisi dari karakteristik awal dapat mempengaruhi fungsi kerja dalam memenuhi kebutuhan sistem keseluruhan. Penanganan yang komprehensif terhadap aliran yang melalui *control valve* akan memberikan kontribusi positif pada sistem. Oleh karena itu kondisi fisik dari *control valve* harus dijaga agar tetap pada kondisi terbaiknya terutama komponen yang berhubungan langsung dengan aliran fluida yaitu *valve plug* dan *valve cage*.

Kebanyakan literatur-literatur yang membahas *control valve* hanya menitikberatkan pada penanganan terhadap kebisingan *control valve* yaitu modifikasi desain. Jauh lebih penting dari kegiatan tersebut, diperlukan kegiatan yang dapat memantau penurunan kondisi *control valve* setiap waktu, sehingga munculnya ketidak-beresan pada operasi *control valve* dapat terdeteksi secara dini.

Dilihat dari tekanan dan kecepatan fluida kerja yang melewati *control valve* cukup tinggi maka kecenderungan timbulnya getaran adalah merupakan masalah yang tidak dapat dihindari. Karena *control valve* bekerja sebagai



komponen pengatur aliran fluida baik cair, uap dan gas dalam sistem instalasi maka adanya gangguan atau cacat pada operasi *control valve* akan mempengaruhi aliran fluida yang pernah melewatinya. Oleh karena aliran fluida mempunyai tekanan maka tekanan fluida akan berfluktuasi secara acak bergantung pada seberapa besar terjadinya cacat atau gangguan tersebut. Energi akibat fluktuasi tekanan acak ini kemudian diserap oleh pipa-pipa yang berdekatan dengan *control valve* sehingga menimbulkan getaran diluar dinding pipa.

Pada kondisi minimal, getaran dan kebisingan mungkin dapat ditolerir tetapi pada skala besar dapat mengganggu lingkungan sekitarnya seperti menimbulkan bunyi, merusak komponen peralatan dan memindahkan yang tidak diinginkan serta menggerakkan benda yang didekatnya. Sebaliknya, dari sinyal getaran dan kebisingan yang ditimbulkan oleh *control valve* dapat digunakan untuk mendeteksi kerja suatu peralatan pada kondisi baik atau mengalami kerusakan. Dengan pemantauan sinyal getaran dimungkinkan untuk mengamati degradasi kondisi peralatan sebelum kerusakan yang fatal terjadi.

## **1.2. Perumusan Masalah**

*Control valve* merupakan komponen vital dalam melayani sistem instalasi turbin uap yaitu sebagai pengontrol aliran fluida sehingga kondisi *control valve* harus dijaga tetap optimal setiap waktu. Pemantauan kondisi kesehatan secara gradual akan menempatkan operasi *control valve* tetap pada daerah kerja yang aman.



Akibat tercampurnya kotoran berupa serbuk karat dari pemakaian pipa yang lama dan serbuk besi atau gram dari proses pengelasan pipa didalam aliran fluida kerja menyebabkan terkikisnya komponen *control valve* yang berhubungan langsung dengan aliran seperti *valve plug* dan *cage*. Dari peristiwa tersebut, aliran yang melalui *control valve* akan mengalami perubahan baik kecepatan maupun tekanan fluida. Fluktuasi tekanan fluida ini dapat merambat ke dinding pipa dan akhirnya timbul getaran.

Dengan pertimbangan diatas, maka dalam penelitian ini mencoba metode alternatif yaitu memantau getaran dinding pipa yang digenerasikan oleh *control valve* dan dari data-data getaran yang diperoleh digunakan untuk memprediksi umur operasi *control valve* masih layak dipakai atau tidak. Di PT.PLN Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa-Bali II Gresik, *control valve* merupakan peralatan yang sering mengalami kerusakan dibandingkan peralatan lain dalam sistem instalasi turbin uap. Dan penanganan untuk menentukan *control valve* masih bisa dipakai atau tidak dalam rangka Program *Predictive Maintenance* menggunakan metode konvensional yaitu dengan melakukan pengujian diruang percobaan (*test chamber*) atau penghentian operasi peralatan lain dari sistem instalasi pipa.

### **1.3. Batasan Masalah**

Agar tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan optimal, maka penulis memberikan batasan-batasan masalah dan asumsi-asumsi terhadap permasalahan yang akan dibahas. Adapun batasan-batasan dan asumsi yang dipakai itu adalah :

1. Penelitian dititikberatkan pada *HP Feedwater control valve* dengan pertimbangan :
  - a. *Control valve* jenis ini paling mudah dilakukan pengukuran karena konstruksi isolasinya mudah ditembus atau dibongkar.
  - b. Sering mengalami kerusakan dibandingkan dengan *control valve* jenis lain.
2. Tidak membahas penanganan *control valve* terhadap pencegahan kerak ataupun korosi.
3. Adapun jenis kerusakan yang akan disurvei dibatasi hanya pada terkikisnya *valve plug* dan *cage*-nya.

#### **1.4. Metodologi Penyelesaian**

Langkah yang diambil oleh penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur.

Guna mendapatkan informasi yang dapat mendukung dalam penyelesaian tugas akhir ini, Penulis menggali informasi dari beberapa literatur yang ada dipustaka baik berupa buku-buku diktat, makalah (thesis), *manual book*, yang berhubungan dengan masalah penulis yang penulis bahas. Selanjutnya dari beberapa literatur yang dapat digunakan sebagai dasar teori dalam penulisan maupun penyelesaian tugas akhir ini.

2. Survei lapangan.

Studi lapangan yang penulis lakukan digunakan untuk melengkapi data yang



diambil dari studi literatur. Pencarian data dilapangan ini dilakukan dengan pengamatan langsung pada obyek yang akan dianalisa, adapun metode yang penulis gunakan adalah sebagai berikut :

a. Ekskpriment

Metode ini berupa pengumpulan data yang diambil di PT. PLN PJB II Gresik-Surabaya. Data didapat dari percobaan pengukuran langsung peralatan yang disurvey.

b. Wawancara

Metode ini berupa pengumpulan data yang diperoleh dengan melakukan wawancara langsung dengan para nara sumber, baik dengan Kabid. Pemeliharaan dan getaran, Kabid. Kontrol dan instrumentasi maupun operator-operator lapangan yang terkait dengan permasalahan tugas akhir ini.

### **1.5. Tujuan dan Manfaat Tugas Akhir**

Secara umum tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah dapat memprediksi tingkat kerusakan yang dialami *control valve* melalui level getaran pada dinding pipa dan lebih spesifik lagi dapat menentukan tindakan atau keputusan dalam rangka kegiatan *Predictive Maintenance*.

Adapun tujuan lain dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui jenis alat ukur getaran, cara penggunaan dan parameter-parameter yang digunakan dalam proses pengukuran getaran pada *control valve*.

2. Memberikan informasi yang dapat digunakan untuk menganalisa waktu perawatan yang dibutuhkan oleh *control valve*.

Sedangkan manfaat penulisan tugas akhir ini dapat ditinjau dalam 2 sudut pandang yaitu :

- a. Bagi Penulis

Sebagai kontribusi yang positif untuk mengetahui kinerja *control valve* dengan mengembangkan metode analisa getaran dan lebih jauh lagi mengetahui tindakan penanganan yang diperlukan dalam kegiatan *Predictive Maintenance*.

- b. Bagi Perusahaan

Sebagai bahan pertimbangan untuk mengembangkan metode baru yang lebih handal dan efisien disamping metode yang sudah ada khususnya bidang *Predictive Maintenance*.



## BAB II

### *CONTROL VALVE*

#### 2.1. Konstruksi Umum *Control Valve*

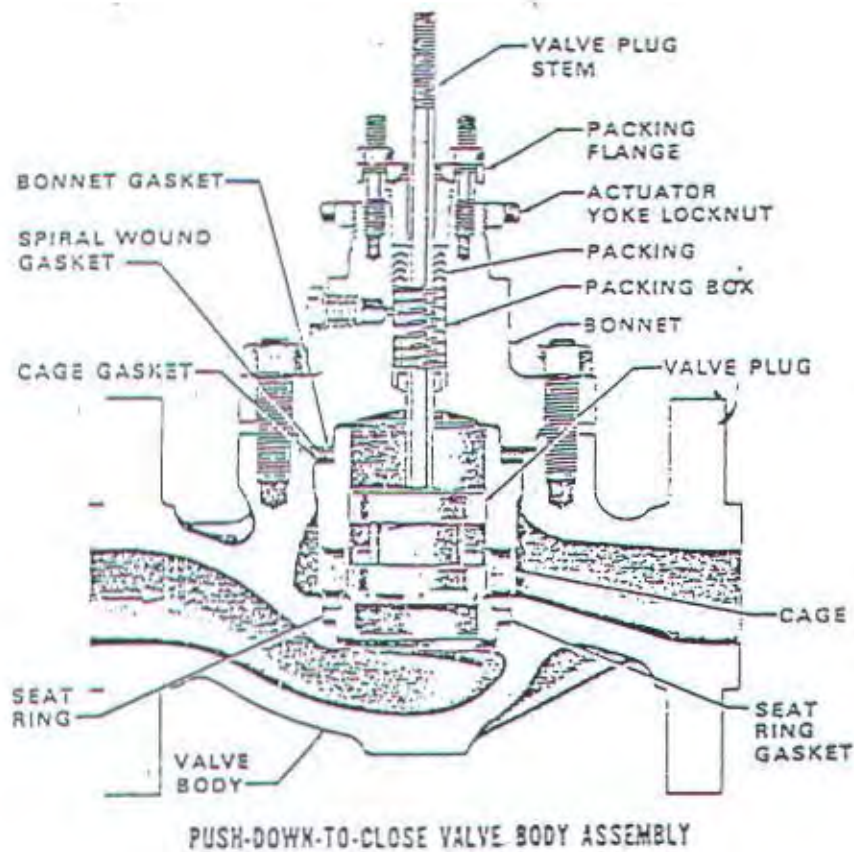
*Control valve* adalah *throttling valve* yang dilengkapi dengan *actuator* atau *actuation system* untuk merespons sinyal input dari *controller*. *Control valve* digunakan untuk mengatur aliran, temperatur, atau tekanan dari proses sistem.

*Control valve* dibagi kedalam 4 jenis yaitu :

- Globe Control Valve
- Butterfly Control Valve
- Ball Control Valve
- Eccentric Plug Control Valve

Dari ke-4 jenis ini mempunyai desain yang saling berbeda satu sama lain dan mempunyai aplikasi spesifik, ciri khas, keuntungan, dan kerugian yang juga berlainan .

Akan tetapi komponen-komponen utama yang terdapat dalam konstruksinya mempunyai kesamaan dari keempat jenis *control valve* tersebut. Untuk mengenal nama-nama bagian dari *control valve* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



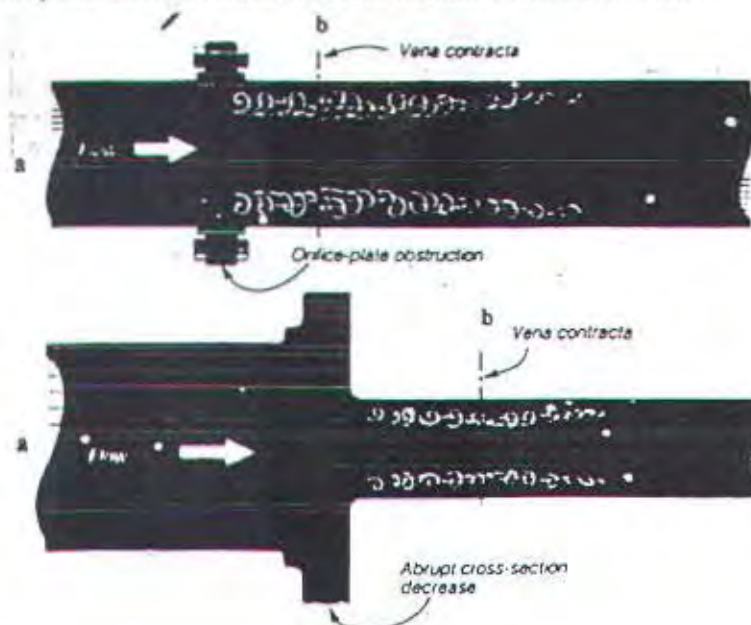
Gambar 2.1. Komponen Utama *Control Valve*

## 2.2. Problema Umum *Control Valve*

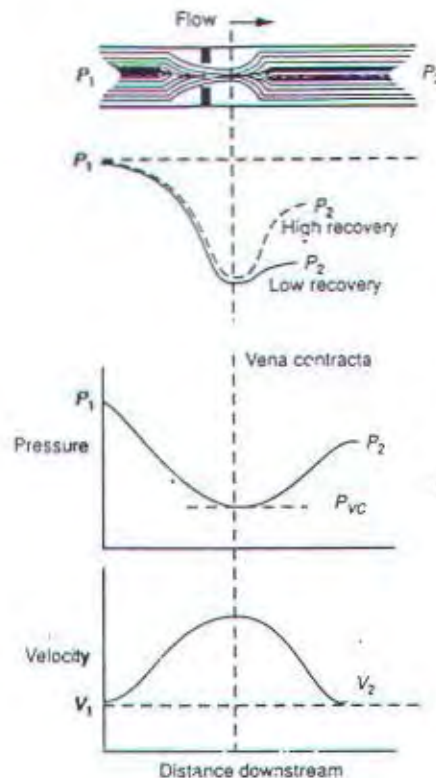
Seperti pada peralatan mekanik lainnya, *Control valve* juga mempunyai masalah-masalah yang selalu timbul dalam operasinya. Masalah-masalah tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### A. Penurunan High Pressure

Aliran bergerak melalui katup dikarenakan adanya perbedaan antara tekanan *upstream* dan tekanan *downstream* yang disebut *pressure drop* ( $\Delta P$ ) atau *pressure differential*. Jika ukuran pipa sama antara kedua *upstream* dan *downstream* dari katup dan kecepatannya konstan, maka katup harus mengurangi tekanan fluida untuk menghasilkan aliran sebagai akibat kerugian gesek. Cara yang efektif untuk menciptakan kerugian gesek yang berarti dalam katup adalah melalui *restriction* didalam badan katup. Oleh karena banyak katup dirancang dengan memungkinkan bagian katup menjadi lebih sempit daripada pipa, maka katup dapat menyediakan *restriction* ini didalam arus fluidanya. Adanya *restriction* yang diberikan oleh *control valve* terhadap aliran maka pada daerah *downstream* akan terjadi pemampatan aliran, dimana pada daerah yang paling besar pemampatannya akan terjadi penurunan tekanan yang paling rendah dan kenaikan kecepatan aliran yang paling besar. Titik-titik pada daerah tersebut kita namakan *Vena Contracta*.







Gambar 2.2. Lokasi *Vena Contracta* Dari Titik *Orifice Restriction* Dan Kurva Tekanan Dan Kurva Kecepatan.

Untuk memelihara *steady state flow* dari *liquid* yang melalui *valve* tersebut, *velocity* harus terbesar pada *vena contracta*, dimana daerah pemampatannya terbesar (*across section area*-nya terkecil) sehingga penambahan *velocity* pada *vena contracta* akan berakibat penurunan *pressure* (Hukum Kekekalan Energi).

$$\frac{\rho V_1^2}{2g_c} \oplus P_1 = \frac{\rho V_{vc}^2}{2g_c} \oplus P_{vc}$$



Dimana :  $\rho$  = Satuan Massa Jenis

$V_1$  = Kecepatan *Upstream*

$P_1$  = Tekanan *Upstream*

$g_0$  = Satuan Gravitasi

$V_{VC}$  = Kecepatan pada *Vena Contracta*

$P_{VC}$  = Tekanan pada *Vena Contracta*

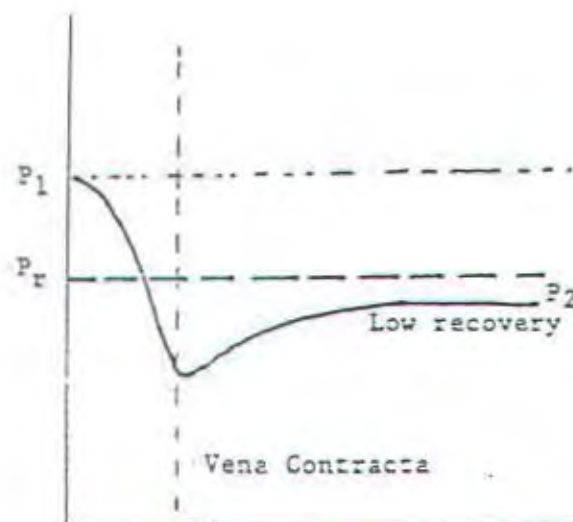
Sesudah lewat dari *vena contracta* maka flow tersebut akan ekspansi kedalam daerah yang besar, sehingga *velocity* akan mengecil sebaliknya *pressure* akan membesar, tetapi *downstream pressure* tidak akan pernah sama dengan *upstream* sehingga akan kita dapatkan  $\Delta$  (*differential pressure*) antara *downstream* dan *upstream*. *High recovery* atau *low recovery* yang disebabkan *restriction valve* tersebut dapat terlihat pada gambar 2.2.

Penurunan *high pressure* melalui katup menyebabkan banyak permasalahan, seperti kavitasi, *flashing*, *choked flow*, level kebisingan tinggi, dan getaran. Permasalahan yang demikian itu menghadirkan banyak akibat langsung : bahaya erosi, atau kavitasi pada *body* dan *trim*, malfungsi atau kinerja yang buruk dari katup itu sendiri, penyimpangan kalibrasi dari instrumentasi yang menempel, kelelahan pipa, atau bahaya pendengaran bagi pekerja yang berdekatan. Hal demikian ini menyebabkan biaya *engineering* dan pemeliharaan meningkat karena katup dalam peristiwa ini membutuhkan trim yang mahal, pemeliharaan yang lebih sering, pengadaan spare part yang besar dan penyangga pipa. Dan perlu ditambahkan , bahwa ancaman terbesar akibat adanya *pressure drop* tinggi adalah kerugian efisiensi pada sistem

proses karena ia dapat menyerap sebagian besar energi , sehingga energi ini hilang dari sistem.

### **B. Flashing**

Berkenaan dengan *recovery characteristic* daripada katup, maka apabila pada *vena contracta pressure* dibawah *vapor pressure* dari *liquid* tersebut maka akan terjadi *flow bubbles* pada *downstream valve* dimana proses ini dinamakan *flashing* dan ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Ketika *flashing* terjadi, fluida downstream adalah campuran uap air dengan cair bergerak pada kecepatan sangat tinggi. *Flashing* ini dapat menyebabkan kerusakan erosi pada *valve trim*, dimana kerusakan tersebut dapat terlihat pada Gambar 2.4 dan ini terjadi pada *high velocity* dekat *seat line* daripada *valve*.



Gambar 2.3. Flow Curve Dari Pada Flashing Characteristic.



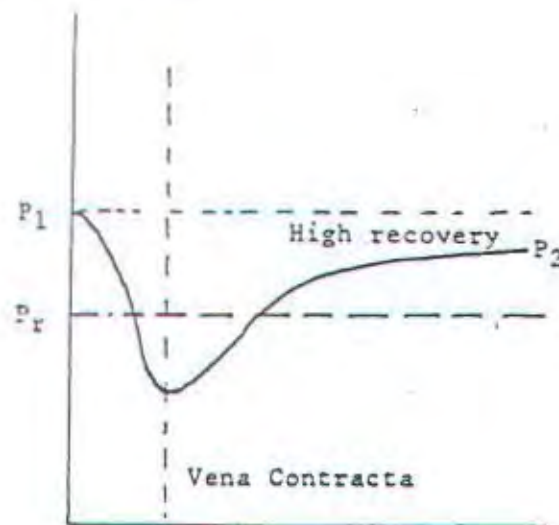
Gambar 2.4. *Typical Apperance Daripada Flashing Damage.*

### C. Kavitasi

Kavitasi adalah fenomena yang terjadi hanya dalam *liquid services*. Bilamana tekanan atmosfer sama dengan tekanan uap air zat cair, gelembung-gelembung uap air akan tercipta. Kenyataan ini benar ketika zat cair dipanaskan dan tekanan uap air naik sampai sama dengan tekanan atmosfer. Pada titik ini, penggelembungan terjadi. Fenomena yang sama ini dapat juga terjadi dari penurunan tekanan atmosfer sama dengan tekanan uap air dari zat cair. Pada penerapan proses zat cair, ketika fluida berakselerasi melewati *restriction* sempit pada *vena contracta*, maka tekanan bisa turun dibawah tekanan uap air fluida. Hal ini menyebabkan gelembung uap cair terbentuk. Pada saat aliran melanjutkan perjalanannya setelah melewati *vena contracta* kecepatan menurun sementara itu *flow area* membesar dan tekanan mulai meningkat lagi. Berbeda dengan proses *flashing*, pada *vena contracta pressure recovery* diatas *vapor pressure* dari zat cair tersebut, sehingga dari zat cair



tersebut akan *collapse* yang akan mengeluarkan energi yang besar sekali sehingga hal ini disebut kavitasi.



Gambar 2.5. *Flow Curve* Dari Pada Karakteristik Kavitasi.



Gambar 2.6. *Typical Apperance* Daripada Kerusakan Kavitasi.

#### D. *Chocked flow*

*Chocked flow* yang terjadi pada fluida gas dan uap air ketika kecepatan fluida proses mencapai kecepatan *sonic* dalam katup atau pipa *downstream*. Pada saat fluida dalam katup menjangkau *restriction* katup,



maka tekanan akan menurun dan volume spesifik meningkat hingga kecepatan sonic dicapai.

### **2.3. Kebisingan Control Valve**

Saat ini polusi kebisingan menjadi ancaman ketiga terbesar bagi lingkungan manusia setelah polusi udara dan air. Karena kebisingan merupakan hasil dari konversi energi maka kebisingan akan meningkat sebanding dengan permintaan energi untuk transportasi, power, makanan dan peningkatan kimiawi.

Pada bidang peralatan kontrol, kebisingan yang dihasilkan oleh katup menjadi titik perhatian utama yang dimulai sebagian oleh Badan pelaksana Occupational Safety and Health Act. (OSHA) dimana dalam sebagian besar kasus, limit akurasi waktu untuk kebisingan didalam daerah industri dengan levelnya ditunjukkan pada tabel 2.1

<b>DURASI PEMAKAIAN (Jam)</b>	<b>SOUND LEVEL (dBA)</b>
32	80
24	82,5
16	85
8	90
4	95
2	100
1	105
½	110

¼ atau kurang	115
---------------	-----

Tabel 2.1.

### 2.3.1. Getaran Mekanik

Kebisingan mekanik disebabkan oleh respons komponen internal didalam katup terhadap aliran turbulent yang melalui katup. Timbulnya pusaran air dan aliran turbulent mengenai bagian komponen dari katup dapat menyebabkan getaran pada permukaan yang berdekatan. Kebisingan yang diakibatkan oleh tipe getaran ini mempunyai karakteristik *tonal*.

Jika turbulensi yang diakibatkan getaran dari bagian trim mendekati frekuensi natural kombinasi plug – stem maka peristiwa resonansi akan muncul. Kondisi resonansi adalah berbahaya karena resonansi dapat menghasilkan kerusakan kelelahan dari bagian trim. Jika kebisingan sudah terjadi, tahap yang harus diambil untuk mengeliminasi kondisi resonansi, untuk mengurangi kebisingan tetapi lebih penting untuk menghindari kerusakan kelelahan.

Kebisingan ada 2 jenis berdasarkan media yang dilaluinya yaitu :

a. Kebisingan aerodinamis

Kebisingan aerodinamis adalah hasil langsung dari konversi energi mekanis aliran kedalam energi akustik ketika fluida melalui

*restriction* katup. Proporsionalitas konversi dinamakan efisiensi akustik dan berkaitan dengan rasio tekanan katup dan desain.

b. Kebisingan hidrodinamis

Kebisingan aliran zat cair, kebisingan kavitasi, dan kebisingan *flashing* dapat digenerasikan oleh aliran zat cair melalui katup dan sistem pipa. Salah satu dari ketiga sumber kebisingan kavitasi adalah yang paling serius karena kebisingan yang dihasilkan dalam bentuk ini dapat menjadi tanda bahwa kerusakan akan terjadi pada beberapa titik dalam katup atau pipa.

### 2.3.2. Prediksi Kebisingan Hidrodinamis

Kebisingan yang dihasilkan oleh aliran zat cair melalui *control valve* dan yang berkaitan dengan pipa dinamakan kebisingan hidrodinamis. Kebisingan hidrodinamis dapat diklasifikasikan kedalam 3 kategori :

1. Kebisingan Aliran

Kebisingan aliran dihasilkan oleh eksitasi langsung dari permukaan *interior* katup dan pipa oleh turbulensi aliran.

2. Kebisingan Kavitasi

Kebisingan kavitasi disebabkan oleh *collapse*-nya gelembung-gelembung uap air *downstream* dari *valve orifice*. Pada saat zat cair melalui *orifice*, jika tekanan *vena contracta*  $P_{VC}$  turun dibawah tekanan uap air  $P_v$  maka akselerasi berubah tiba-tiba dan penurunan resultan



tekanan dapat menyebabkan gelembung uap air terbentuk dalam zat cair.

Jika tekanan *downstream* melebihi tekanan uap air, maka gelembung uap air akan timbul menghasilkan kebisingan, dan dalam beberapa kasus menyebabkan kerusakan serius pada katup dan pipa *downstream*.

Seringkali level kebisingan tinggi yang dihasilkan dipertimbangkan sebagai gejala kerusakan katup yang akan datang daripada sebagai masalah kebisingan.

### 3. Kebisingan *Flashing*

Kebisingan *flashing* terjadi sewaktu proses *throttling* ketika bagian zat cair menguap tanpa *collapse* gelembung uap air yang berikutnya. Hal ini terjadi ketika tekanan *downstream* sama dengan atau lebih rendah daripada tekanan uap air zat cair. Seperti pada kebisingan aliran maka level bunyi yang dihasilkan oleh aliran *flashing* pada umumnya baik dibawah OSHA *guidelines*.

#### A. Kebisingan Aliran

Yaitu jika aktualnya  $\Delta P < \Delta P_i$ , gunakan persamaan berikut untuk memprediksi kebisingan hidrodinamis :

Satuan Inggris

$$SL = 10 \log C_v + 20 \log \Delta P - 30 \log (t) + 5$$

Satuan Metrik

$$SL = 10 \log C_v + 20 \log \Delta P - 30 \log (t) + 70.5$$

Dimana :

$$\Delta P_i = \text{Penurunan tekanan kavitasi incipient} = K_C (P_1 - P_v) \text{ (psi, bar)}$$

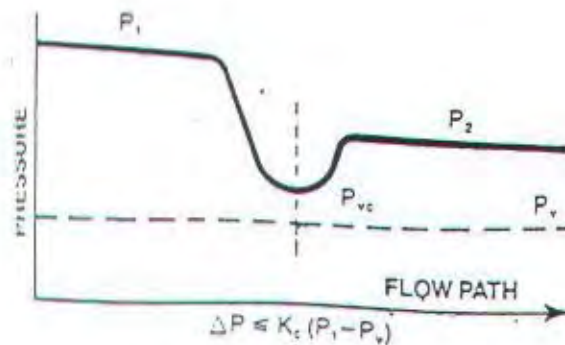
$K_C$  = Koefisien kavitasi *incipient*

SL = Weighted sound level, 3 ft *downstream* (1m) dan 3 ft (1m) dari permukaan pipa (dBA).

$C_V$  = Koefisien aliran aktual yang dibutuhkan

$\Delta P$  = Penurunan tekanan (psi, bar)

$t$  = Tebal dinding pipa (inchi, mm)



#### B. Kebisingan Kavitasi *incipient*

Yaitu jika  $\Delta P_1 < \Delta P < \Delta P_c$  gunakan rumus berikut untuk memprediksi kebisingan hidrodinamis :

Satuan Inggris

$$SL = 10 \log C_V + 20 \log \Delta P + 5 \left[ \frac{\frac{\Delta P}{P_1 - P_v} - K_C}{C_V^2 - K_C} \right] \log (P_2 + 1 - P_v) - 30 \log (t) + 5$$

Dimana :

$\Delta P_c$  = Pressure drop kritis

$$= C_f^2 (P_1 - P_v) \text{ (psi, bar)}$$

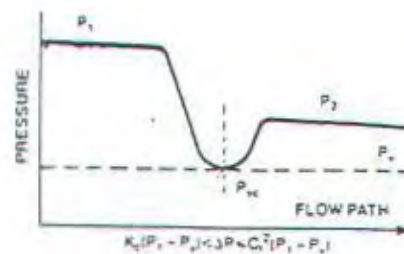
$C_f$  = Faktor aliran kritis

$P_v$  = Tekanan uap air fluida (psia, bar abs)

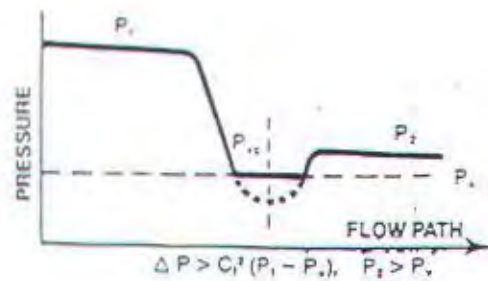
$P_2$  = Tekanan downstream katup (psia, bar abs)

Satuan Metrik

$$SL = 10 \log C_v + 20 \log \Delta P + 5 \left[ \frac{\frac{\Delta P}{P_1 - P_v} - K_c}{C_f^2 - K_c} \right] \log 14.5 (P_2 + 0.07 - P_v) - 30 \log (t) + 70.5$$



### C. Kebisingan Kavitasasi Keseluruhan





Yaitu jika  $\Delta P > \Delta P_c$  dan  $P_2 > P_v$ , gunakan rumus berikut untuk memprediksi kebisingan hidrodinamis :

**Satuan Inggris**

$$SL = 10 \log C_v + 20 \log \Delta P + 5 \left[ \frac{\frac{\Delta P}{P_1 - P_v} - K_c}{C_f^2 - K_c} \right] \log (P_2 + 1 - P_v) \\ - 30 \log (t) + 5 - 5 \log (\Delta P + 1 - \Delta P_c)$$

**Satuan Metrik**

$$SL = 10 \log C_v + 20 \log \Delta P + 5 \left[ \frac{\frac{\Delta P}{P_1 - P_v} - K_c}{C_f^2 - K_c} \right] \log 14.5 (P_2 + \\ 0.07 - P_v) - 30 \log (t) + 70.5 - 5 \log (\Delta P + 0.07 - \Delta P_c) + 6$$

### 2.3.3. Prediksi Kebisingan Aerodinamis

Kebisingan aerodinamis adalah akibat dari hasil proses *throttling* aliran kompresibel didalam *control valve*. Pada dasarnya, untuk kondisi subkritis dimana kecepatan jet pada *vena contracta* dibawah kecepatan suara, kebisingan *control valve* dihasilkan dari turbulensi kuat yang diciptakan dalam *shear layer downstream* dari *vena contracta*. Untuk kondisi kritis, kebisingan tambahan diinduksikan oleh interaksi antara turbulensi dengan gelombang kejut yang dikembangkan oleh kecepatan aliran kritis.

Secara konsep, kebisingan katup yang diradiasikan ke lingkungan dalam sistem tertutup yaitu asal mulanya dihasilkan dari katup kemudian ditransmisikan ke pipa *downstream*. Selanjutnya energi akustik ini diradiasikan kembali ke lingkungan sekitar melalui penginduksian atau “pengendalian” dinding pipa. Untungnya, intensitas bunyi dikurangi secara dramatis melalui proses ini. Kuantitas keseluruhan energi bunyi yang dihasilkan, ditunjukkan oleh daya bunyi, dapat diberikan dalam istilah kondisi operasi katup sebagai berikut :

$$PWL \propto \text{Log} [C_v C_f P_1 \eta T^{1/2}]$$

Demikian pula, untuk reduksi dalam intensitas bunyi yang diberikan oleh dinding pipa.

$$TL \propto \text{Log} [t^3/P_2 D^3 T^{1/2}]$$

Karena kedua istilah secara matematis sama maka pernyataan sederhana untuk *sound level* yang diradiasikan keluar sistem pipa dapat dikembangkan. Model prediksi ini sudah dibuktikan keakuratannya untuk  $\pm 5$  dBA bilamana yang diukur sesuai dengan ISA dSP 7507.

Pernyataan untuk TL diatas menggambarkan reduksi energi akustik dari interior pipa ke exterior pipa. Meningkatnya  $P_2$ ,  $T$ , dan  $D$  akan mengurangi kerugian transmisi sebaliknya peningkatan dalam  $t$  akan meningkatkan kerugian transmisi. Ada 2 metode yaitu :

### **1. Metode Numerik**

Untuk semua gas kecuali uap air :

$$SL = 10 \text{ Log} [28 C_v C_f P_1 P_2 D^2 \eta T/t^3] + SL_g$$

Untuk uap air :

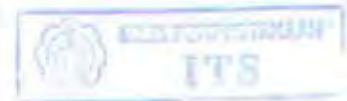
$$SL = 10 \text{ Log } [1.1 \times 10^{-3} C_V C_f P_1 P_2 D^2 \eta (1 + 0.0007 T_{sh})^6 / t^3]$$

Dalam satuan metrik, untuk semua gas kecuali uap air :

$$SL = 10 \text{ Log } [2.6 \times 10^{-5} C_V C_f P_1 P_2 D^2 \eta T/t^3] + SL_g$$

Untuk uap air :

$$SL = 10 \text{ Log } [5.8 \times 10^{-7} C_V C_f P_1 P_2 D^2 \eta (1 + 0.00126 T_{sh})^6 / t^3]$$



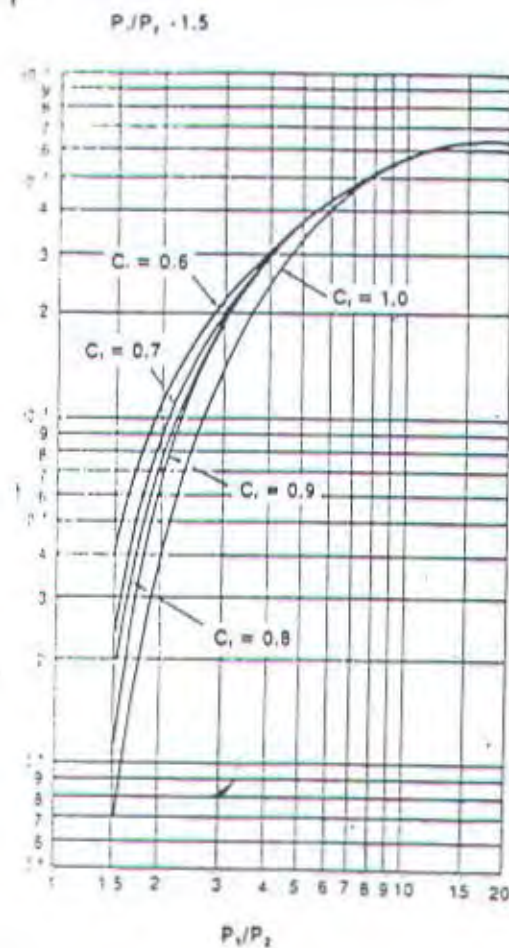
GAS	SL <sub>g</sub>	GAS	SL <sub>g</sub>
Acetylene	- 0.5	Hydrogen	- 9.0
Air	0	Hydrogen Chloride	- 1.0
Ammonia	1.5	Isobutane	- 6.0
Argon	1.0	Methane	2.0
Butane	- 6.0	Natural Gas	0.5
Carbon Dioxide	- 3.0	Nitrogen	0
Carbon Monoxide	0	Oxygen	- 0.5
Chlorine	- 2.5	Pentane	- 7.5
Ethane	- 2.0	Propane	- 4.5
Ethylene	- 1.5	Propylene	- 4.5
Helium	- 9.0	Sulphur Dioxide	- 5.0

Tabel 2.2. Gas Property Factor SL<sub>g</sub>



Nilai untuk fungsi efisiensi akustik  $\eta$  diberikan dalam Gb. 2.7.

Acoustical Efficiency: Conventional Valves

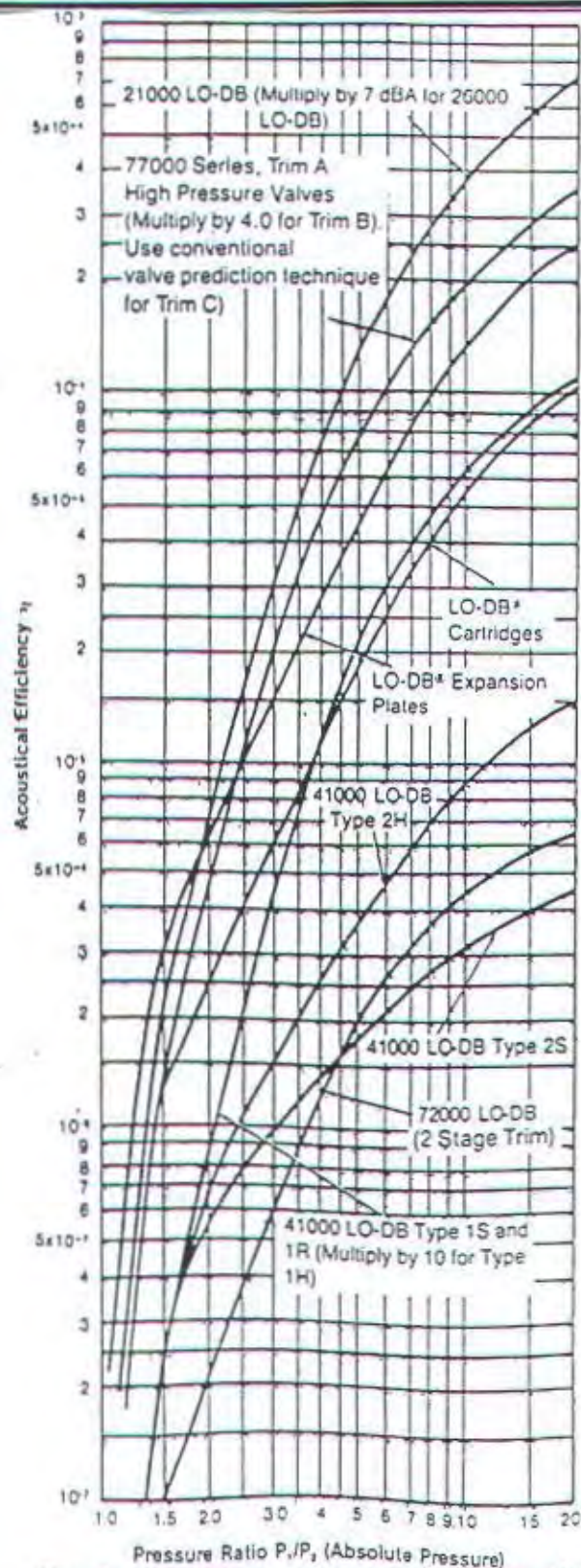


Acoustical Efficiency  
 $P_1/P_2 \leq 1.5$

$P_1/P_2$	$\eta$				
	$C_v = 1$	$C_v = 0.9$	$C_v = 0.8$	$C_v = 0.7$	$C_v = 0.6$
1.50	$7.0 \times 10^{-9}$	$1.4 \times 10^{-8}$	$2.1 \times 10^{-8}$	$2.4 \times 10^{-8}$	$3.8 \times 10^{-8}$
1.40	$3.6 \times 10^{-8}$	$6.4 \times 10^{-8}$	$1.0 \times 10^{-7}$	$1.5 \times 10^{-7}$	$2.1 \times 10^{-7}$
1.30	$1.5 \times 10^{-7}$	$2.9 \times 10^{-7}$	$4.9 \times 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{-7}$	$1.1 \times 10^{-6}$
1.25	$8.6 \times 10^{-8}$	$1.7 \times 10^{-7}$	$3.1 \times 10^{-7}$	$5.0 \times 10^{-7}$	$7.3 \times 10^{-7}$
1.20	$4.5 \times 10^{-8}$	$9.3 \times 10^{-8}$	$1.7 \times 10^{-7}$	$2.9 \times 10^{-7}$	$4.5 \times 10^{-7}$
1.15	$1.8 \times 10^{-8}$	$4.0 \times 10^{-8}$	$8.3 \times 10^{-8}$	$1.4 \times 10^{-7}$	$2.3 \times 10^{-7}$
1.10	$5.2 \times 10^{-9}$	$1.3 \times 10^{-8}$	$2.8 \times 10^{-8}$	$5.4 \times 10^{-8}$	$9.2 \times 10^{-8}$
1.05	$5.8 \times 10^{-9}$	$1.8 \times 10^{-9}$	$4.5 \times 10^{-9}$	$9.7 \times 10^{-9}$	$1.8 \times 10^{-8}$
1.01	$3.5 \times 10^{-10}$	$1.7 \times 10^{-9}$	$6.0 \times 10^{-9}$	$1.8 \times 10^{-8}$	$4.3 \times 10^{-8}$

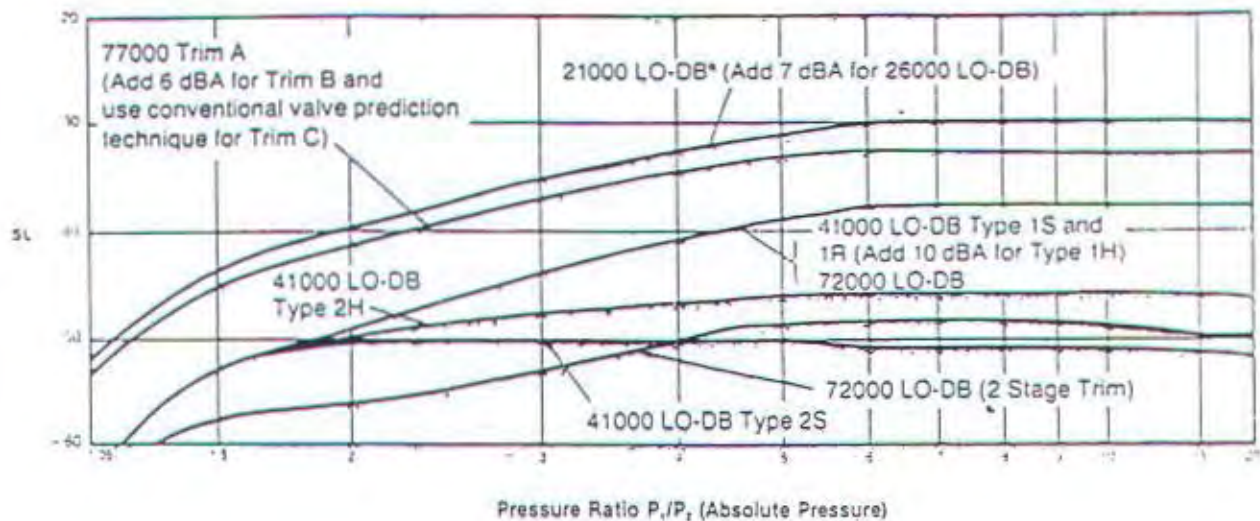
Gambar 2.7. Prediksi Kebisingan Aerodinamis Untuk Katup Konvensional.

Jika level kebisingan untuk Masonelion Low – Noise Valve dibutuhkan, maka prosedur yang sama dapat digunakan kecuali nilai  $\eta$  atau SL harus diperoleh dari Gb. 2.8 atau Gb. 2.9 untuk *valve trim* yang diinginkan secara khusus.



Gambar 2.8. Efisiensi Akustik Peralatan LO-DB.





Gambar 2.9. Faktor  $SL_g$  Katup LO-DB.

## 2. Metode Grafis

Untuk semua gas kecuali uap air :

$$SL = SL_o + SL_p + SL_f + SL_v + SL_g + SL_a$$

Untuk uap air :

$$SL = SL_o + SL_p + SL_v + SL_a + SL_s$$

Dimana :

PWL = Sound Power Level (dB)

TL = Kerugian transmisi bunyi pipa (dB)

$C_v$  = Koefisien aliran aktual yang dibutuhkan

$C_f$  = Faktor aliran kritis

$P_1$  = Tekanan upstream katup (psia, bar abs)

$P_2$  = Tekanan downstream katup (psia, bar abs)



- $\eta$  = Effisiensi akustik
- $T$  = Temperatur absolut ( $^{\circ}\text{R}$ ,  $^{\circ}\text{K}$ )
- $T_{sh}$  = Temperatur uap panas lanjut ( $^{\circ}\text{F}$ ,  $^{\circ}\text{K}$ )
- $D$  = Diameter pipa nominal downstream (inchi, mm)
- $t$  = Tebal dinding pipa (inchi, mm)
- $SL$  = Weighted sound level, 3 ft *downstream* (1m) dan 3 ft (1m) dari permukaan pipa (dBA).
- $SL_g$  = Gas property factor (dBA)
- $SL_o$  = Faktor effisiensi akustik (dBA)
- $SL_p$  = Faktor tekanan inlet katup (dBA)
- $SL_t$  = Faktor temperatur fluida (dBA)
- $SL_v$  = Faktor kapasitas aliran (dBA)
- $SL_u$  = Faktor pengurangan pipa (dBA)
- $SL_s$  = Faktor temperatur uap (dBA)

#### **2.4. Frekuensi Puncak**

Karena kebisingan katup mempunyai karakteristik broadband diseluruh range frekuensi yang dapat didengar, maka distribusi frekuensi yang diukur diluar sistem perpipaan akan ditentukan melalui karakteristik pipa transmisi.

Karakteristik-karakteristik transmisi akustik ini berkaitan dengan mode akustik orde tinggi. Sebagai konsekuensinya, dapat ditentukan resultan frekuensi puncak

yang diukur diluar sistem perpipaan dimana dieksitasikan secara akustik oleh control valve, akan terletak pada frekuensi band :

$$f = \frac{25000}{\pi D} \text{ dan } f = \frac{41000}{\pi D} \text{ (Hz)}$$

dimana D adalah diameter pipa nominal (in.)

$$f = \frac{6.35 \times 10^5}{\pi D} \text{ dan } f = \frac{1 \times 10^6}{\pi D} \text{ (Hz)}$$

dimana D adalah diameter pipa nominal (mm)

## **2.5. Prediksi Kebisingan *Control Valve* Dari Getaran Pipa.**

Study pengukuran kebisingan *control valve* seringkali mengalami kesulitan diakibatkan oleh kondisi lingkungan dimana katup ditempatkan. Yaitu suatu kondisi dimana tingkat *ambient sound* yang tinggi dari berbagai peralatan yang terpasang pada sistem. Melalui pengukuran getaran dinding pipa, dimungkinkan untuk menghitung kebisingan yang digenerasikan oleh katup tanpa melakukan pengujian di ruang percobaan (*test chamber*) atau penghentian operasi peralatan-peralatan lain dari sistem instalasi pipa.

*Control valve* merupakan salah satu dari beberapa sumber kebisingan yang mencapai tingkat bunyi lebih dari 100 dBA pada industri kimia, dan kilang minyak, dan instalasi pembangkit daya. Walaupun banyak ragam metode tersedia untuk menangani kebisingan *control valve* setelah katup-katup dan perpipaan telah terpasang, kadang-kadang masih kesulitan untuk menentukan secara tepat katup mana yang berperan sebagai penyebab kebisingan dengan tingkat kebisingan tertentu didalam sistem perpipaan yang kompleks.



Kemampuan kebisingan dan getaran untuk merambat ke perpipaan dan beradiasi ke udara melalui jarak yang jauh dari katup mempunyai efek penting pada area bunyi disekeliling sistem perpipaan. Lain daripada pergerakan sebagai “*sumber titik*”, dimana *sound pressure* berkurang 6 dBA tiap *doubling of distance*, sistem *valve-piping* dapat mendekati karakteristik medan “*sumber garis*”. Pada sumber garis, penurunan *sound pressure* sebesar 3 dBA terjadi pada tiap *doubling of distance*. Penanganan kebisingan katup memerlukan pengetahuan tentang sumber kebisingan, akan tetapi pengukuran *sound level* pada sistem yang sudah terpasang menjadi rumit akibat efek dari sumber kebisingan lain pada area tersebut. Kadang-kadang sumber kebisingan dapat di “shut down” atau dihentikan operasinya, meskipun demikian kompressor dan bagian-bagian lain suatu sistem yang integral tidak dapat selalu dimatikan untuk tujuan pengujian.

Sebagai konsekuensinya, dapat dipertimbangkan untuk mengukur medan bunyi secara tidak langsung dengan memantau getaran dinding pipa yang berkaitan dengan katup-katup yang dimaksud. Getaran dinding pipa, disebabkan oleh fluktuasi tekanan akustik secara acak yang digenerasikan oleh *control valve* dan diradiasikan kembali oleh eksterior pipa menuju ke lingkungan sekelilingnya. Oleh karena itu dimungkinkan dikembangkan sebuah metoda untuk memprediksi kebisingan *control valve* berdasarkan pada eksitasi dinding pipa. Secara umum, metode tersebut dikembangkan menurut 3 asumsi dasar :

1. Pipa-pipa memancarkan bunyi dalam bentuk sumber garis ke dalam “area bebas” secara akustik. Asumsi ini sesuai untuk jenis lokasi pengukuran pada



3 ft "down stream" dari bagian buang dari katup dan 3 ft garis tegak dari sumbu pipa.

2. *Sound* yang menyebar sebenarnya saling menguatkan di keseluruhan panjang dari pipa yang dievaluasi (6 ft). Hal ini dibuktikan menggunakan persamaan pengurangan bunyi ( $\Delta IL$ ) dalam pipa dapat dirumuskan :

$$\begin{aligned}\Delta IL &= -2.65\alpha L_p \\ &= 9 \times 10^{-5} \frac{\sqrt{f}}{R_p}, \text{ khusus } \alpha \text{ untuk udara}\end{aligned}$$

Dimana :

$\alpha$  = Fungsi pengurangan

$L_p$  = Panjang pada titik P

$f$  = Frekuensi

$R_p$  = Jari-jari pipa

Dengan persamaan ini, penurunan bunyi terburuk sepanjang 6 ft dari pipa (pipa diameter 2 in) pada 12,500 Hz adalah 1 dB.

3. Daerah frekuensi dari metode yang telah dibuktikan dibatasi pada daerah antara frekuensi *coincident* dan frekuensi bunyi pipa.

Frekuensi *coincident* ( $f_c$ ) terjadi apabila fase kecepatan bunyi pada dinding pipa sama dengan kecepatan bunyi didalam fluida :

$$f_c = \frac{c_o^2 \sqrt{3}}{\pi t c_s}$$

Dimana :

$c_o$  = Kecepatan bunyi dalam udara

$c_s$  = Kecepatan bunyi dalam baja

$t$  = Tebal dinding pipa

*Ring frequency* (frekuensi bunyi) merupakan lingkaran mode pipa yang pertama misalnya frekuensi dimana lingkaran pipa sama dengan panjang gelombang bunyi.

*Ring frequency* dirumuskan sebagai berikut :

$$f_r = \frac{c_s}{\pi D_p}, \text{ dimana : } D_p = \text{Diameter pada titik P}$$

Penyederhanaan ini perlu dibuat karena tingkat tekanan bunyi yang dominan selalu ditemukan pada daerah frekuensi.

### **Perkembangan Model**

Dari akustik dasar, Kecepatan partikel berhubungan langsung dengan *sound pressure* ( $P$ ) melalui impedansi akustik ( $p_0 c_0$ ) dalam bentuk :

$$P = p_0 c_0 V/g \quad (2.1)$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan partikel

$g$  = Konstanta gravitasi

Asumsikan bahwa kecepatan partikel pada dinding pipa sama dengan kecepatan getaran dinding :

$$V = a / \omega = a / 2\pi f \quad (2.2)$$

Dimana :

$a$  = Percepatan

$\omega$  = Frekuensi angular

Substitusikan harga ini untuk V pada persamaan 2.1

$$P = \frac{P_o c_o a}{2\pi f g} \quad (2.3)$$

dimana a adalah percepatan dalam  $\text{ft/s}^2$ .

Intensitas akustik (I) didefinisikan sebagai *sound-power* tiap unit area, atau  $I = W / A$ . Intensitas akustik dapatb juga didefinisikan sebagai *pressure* kuadrat, dibagi dengan impedansi akustik. Persamaan dua intensitas saling berhubungan menghasilkan rumus :

$$I = \frac{W}{A} = \frac{P^2 g}{P_o c_o} \quad (2.4)$$

Sekarang *sound power* dapat dinyatakan sebagai :

$$W = \frac{P^2 A g}{P_o c_o} \quad (2.5)$$

Konsekuensinya, *total sound power* yang diradiasikan oleh pipa dapat diberikan sebagai :

$$W_p = \frac{P_p^2 A_p g}{P_o c_o} \quad (2.6)$$

Sesuai dengan yang diatas, *power* yang diterima pada jarak d adalah :

$$W_d = \frac{P_d^2 A_d g}{P_o c_o} \quad (2.7)$$

Karena *sound power* yang diradiasikan oleh pipa harus sama dengan *sound power* yang diterima pada jarak d :



$$\frac{P_p^2 A_p g}{P_o c_o} = \frac{P_d^2 A_d g}{P_o c_o} \quad (2.8)$$

atau

$$P_d^2 = \frac{P_p^2 A_p}{A_d} \quad (2.9)$$

Substitusikan  $A_p = \pi D_p L_p$ ,  $A_d = 2\pi d L_d$  dan asumsikan bahwa panjang area radiasi sama dengan panjang area penerimaan ( $L_d = L_p$ ), Persamaan 2.9 menjadi :

$$P_d = \frac{P_p^2 D_p}{2d} \quad (2.10)$$

Dari persamaan 2.3,  $P_p = p_o c_o a / 2\pi f g$ . Substitusikan untuk  $P_p$  dalam persamaan 2.10 :

$$P_d^2 = \frac{P_o^2 c_o^2 a^2 D_p}{8\pi^2 d f^2 g^2} \quad (2.11)$$

Substitusikan harga untuk  $p_o, c_o$  dan  $g$ , serta asumsikan bahwa  $d = 3$  ft (penerima adalah 3 ft dari sumbu pipa), Persamaan 2.11 menjadi :

$$P_d^2 = 7.1 \times 10^{-3} a^2 D_p / f^2 \quad (2.12)$$

dimana tekanan dinyatakan dalam microbar.

*Sound Pressure Level* (SPL) dihubungkan dengan *sound pressure* ( $P_d$ )

oleh :

$$SPL = 10 \log \frac{P_d^2}{(P_{ref})^2} \quad (2.13)$$

dimana  $P_{ref} = 2 \times 10^{-4}$  microbar.

Substitusikan persamaan 2.12 ke dalam persamaan 2.13 memberikan :

$$\text{SPL} = 10 \log (1.78 \times 10^{11} a^2 D_p / f^2) \quad (2.14)$$

percepatan  $a$  dalam  $\text{in}/\text{s}^2$ .

Untuk percepatan dalam  $g$ 's, persamaan 2.14 menjadi :

$$\text{SPL} = 10 \log (1.82 \times 10^{14} a^2 D_p / f^2) \quad (2.15)$$

Pernyataan dapat dikembangkan untuk beberapa ukuran pipa dengan jalan penggantian diameter pipa  $D_p$ :

$$\text{Pipa 2-in : SPL} = 10 \log (3.1 \times 10^{13} a^2 / f^2) \quad (2.16)$$

$$\text{Pipa 4-in : SPL} = 10 \log (6 \times 10^{13} a^2 / f^2) \quad (2.17)$$

$$\text{Pipa 8-in : SPL} = 10 \log (1.22 \times 10^{14} a^2 / f^2) \quad (2.18)$$

## BAB III

### *PREDICTIVE MAINTENANCE*

*Predictive Maintenance* adalah tindakan yang dilakukan dengan tujuan agar instalasi dapat bekerja dengan prestasi yang optimum serta mencegah *down time* yang tidak perlu, karena suatu gejala dan diagnosa kerusakan dapat diketahui sejak dini (*condition base*). Sistem *Predictive Maintenance* menggunakan sistem pemeliharaan total dengan strategi yang terencana meliputi :

1. Melaksanakan inventori kondisi peralatan secara menyeluruh.
2. Menghasilkan evaluasi prediksi umur peralatan maupun struktur yang kriteria secara dini jauh sebelum terjadi kegagalan.
3. Mengembangkan strategi-strategi inspeksi, pemeliharaan, *refurbishment* (penggantian) berbasis kondisi yang optimum untuk mencapai target biaya dan keterpercayaan spesifik.
4. Untuk menjamin keterpercayaan pasca *refurbishment* dengan rancangan rekayasa yang optimum dari komponen-komponen pengganti.

#### 3.1. Teknik Pemantauan

Untuk melaksanakan program *Predictive Maintenance* yang komprehensif maka perlu mengikutkan pemantauan dan diagnostik teknik-teknik lain sehingga dapat memberikan semua informasi yang dibutuhkan untuk program perawatan prediktif yang sukses. Namun karena peralatan mekanik atau mesin merupakan mayoritas peralatan pabrik maka tidak mengherankan bila pemantauan



sinyal getaran merupakan kunci dari kebanyakan program *Predictive Maintenance*.

Macam-macam teknik pemantauan yaitu :

#### **A. Pemantauan Getaran**

Teknik pemantauan getaran dilakukan dengan cara memanfaatkan sinyal getaran maupun derau yang dihasilkan oleh peralatan mekanik untuk menentukan kondisi kesehatan peralatan tersebut. Dengan bantuan instrumentasi dan kemampuan analitis maka teknik ini menjadi sangat handal dan akurat dalam mendeteksi ketidak-beresan operasi mesin.

Pemantauan sinyal getaran mampu mengamati tingkat kesehatan mesin juga dapat diamati. Bila teknik ini diterapkan dengan baik maka cara ini mampu untuk meramalkan tingkat kerusakan komponen mesin sebelum kerusakan yang fatal terjadi.

#### **B. Pengukuran Bunyi Dan Ultrasonik**

Pengukuran ini merupakan salah satu pengukuran tak menyentuh (*remote sensing*) yang kadang-kadang digunakan dalam perawatan prediktif. Pengukuran bunyi lebih umum diaplikasikan untuk keperluan *noise abatement* (pencegahan kebisingan) sedang pengukuran ultrasonik banyak diterapkan untuk mendeteksi kebocoran pipa dan bejana bertekanan.

#### **C. Pengukuran Temperatur**

Pengukuran ini diklasifikasikan dalam 2 teknik yaitu :

1. Bersentuhan

- Menggunakan sensor-sensor temperatur seperti termokopel, bimetal, termistor dan lain-lain.
- Handal, murah, dapat dilakukan secara *online*.
- Merupakan pengukuran titik jadi tidak dapat menggambarkan distribusi temperatur seluruh mesin kecuali bila digunakan banyak sensor.

2. Tak Bersentuhan (TERMOGRAFI)

- Untuk memonitor kondisi kesehatan mesin.
- Menggunakan instrumentasi yang dirancang untuk memonitor energi inframerah yang dipancarkan oleh suatu mesin.
- Cukup sulit dilakukan karena energi inframerah yang dikirim oleh suatu benda merupakan kombinasi dari energi yang dipancarkan oleh benda itu sendiri.

**D. Tribologi**

Ada 2 macam teknik yang sering digunakan yaitu :

1. Analisa Minyak Pelumas (termasuk analisa spektrofotografinya)

Teknik analisa ini digunakan untuk menentukan kondisi minyak pelumas yang digunakan dalam peralatan mekanik dan listrik. Perbandingan banyaknya deposit metal dari beberapa selang pengukuran dapat menunjukkan pola keausan bagian mesin atau bahkan penyebab kerusakan tersebut.

2. Analisa Partikel Aus (termasuk analisa spektrofotografinya)

Teknik ini menitikberatkan pada pengkajian bentuk partikel, komposisi, ukuran, dan jumlah yang terdapat dalam minyak pelumas.

**E. Parameter Proses**

Yang termasuk dalam teknik pengukuran ini adalah pengukuran tekanan dan arus listrik. Pengukuran ini dapat digunakan untuk memonitor unjuk kerja mesin seperti daya dan efisiensi.

**F. Inspeksi Visual**

Merupakan satu-satunya teknik *Predictive Maintenance* yang paling murah. Dalam beberapa kasus, inspeksi visual justru menemukan masalah yang penting yang justru terlewatkan oleh teknik perawatan prediktif lain.

**3.2. Pengukuran Sinyal Getaran**

**3.2.1. Dasar-Dasar Sinyal Getaran**

Agar dapat membahas sinyal getaran tersebut secara kuantitatif maka terdapat tiga hal yang mendukung hal ini, yaitu :

**A. Parameter Getaran**

Besaran ini dapat diukur dengan menggunakan sensor getaran yang tersedia dipasaran dan sensor ini dapat dibedakan menjadi :

- Sensor Simpangan Getaran (*Displacement*)
- Sensor Kecepatan Getaran (*Velocity*)
- Sensor Percepatan Getaran (*Accelerometer*)



Parameter sinyal getaran ini terdiri dari atas :

- ♦ Amplitudo
- ♦ Frekuensi

Untuk analisis getaran yang efektif maka perlu dipilih parameter getaran yang tepat.

#### **B. Impedansi Mekanik**

Dalam pengukuran sinyal getaran maka yang diukur adalah respon struktur karena adanya stimulus getaran (misalnya gaya eksitasi getaran, cacat pada elemen rotasi, dan lainnya), sehingga yang terukur bukan gaya stimulus getaran (kecuali pada pengukuran fungsi transfer).

Respon getaran ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik dinamik struktur mekanik tempat pengukuran getaran berlangsung. Hal berikut ini dapat terjadi yaitu :

- Bila respon getarannya kecil maka sulit untuk dianalisis.
- Bila respon berubah secara drastis terhadap frekuensi, maka perubahan tersebut mengganggu pembacaan tingkat amplitudo getaran.

#### **C. Frekuensi Pribadi (Frekuensi Resonansi)**

Suatu struktur mekanik yang mengalami gaya eksitasi kejut (*impact* atau *shock*) akan bergetar pada salah satu atau pada beberapa frekuensi pribadinya. Frekuensi pribadi berpengaruh terhadap rentang frekuensi ukur suatu sensor percepatan atau sensor kecepatan.

Bila frekuensi dari gaya eksitasi getaran sama dengan frekuensi pribadi struktur maka terjadi resonansi yang mengakibatkan amplitudo getaran yang

besar.

Hubungan antara frekuensi pribadi dengan analisis getaran pada permesinan menyangkut tiga hal yaitu :

- ❖ Resonansi pada struktur karena frekuensi gaya eksitasi getaran yang tergantung pada putaran mesin mengakibatkan perubahan tingkat amplitudo getaran.
- ❖ Perilaku dinamik putaran poros-poros berubah drastis pada putaran kritisnya.
- ❖ Rentang frekuensi ukur sensor kecepatan dan sensor percepatan getaran dibatasi oleh frekuensi resonansinya.

### **3.2.2. Pengukuran Sinyal Getaran**

Dalam pengkajian eksprimental untuk memahami perilaku dinamik suatu struktur dilakukan pengukuran sinyal getaran dalam domain waktu. Karena itu bagian awal sistem instrumentasi yang digunakan dalam pengukuran ini adalah instrumentasi yang bekerja dalam domain waktu dan sinyal getaran yang terukur biasanya adalah :

- Amplitudo getaran.
- Bila sinyalnya deterministik maka periode sinyal bisa diukur.

Pada umumnya pemantauan sinyal getaran tidak dilakukan dalam besaran mekanik tetapi sinyal getaran tersdebut dikonversikan dalam besaran listrik (misal : tegangan listrik) agar pemantauan maupun manipulasi sinyal (misal : pembesaran, penyaringan, pengolahan dan lainnya) bisa dilakukan lebih



mudah. Untuk keperluan diatas maka digunakan sensor getaran, alat ukur getaran maupun alat pemantau visual (oscilloscope) sinyal getaran.

Instrumentasi getaran bisa dikelompokkan dalam :

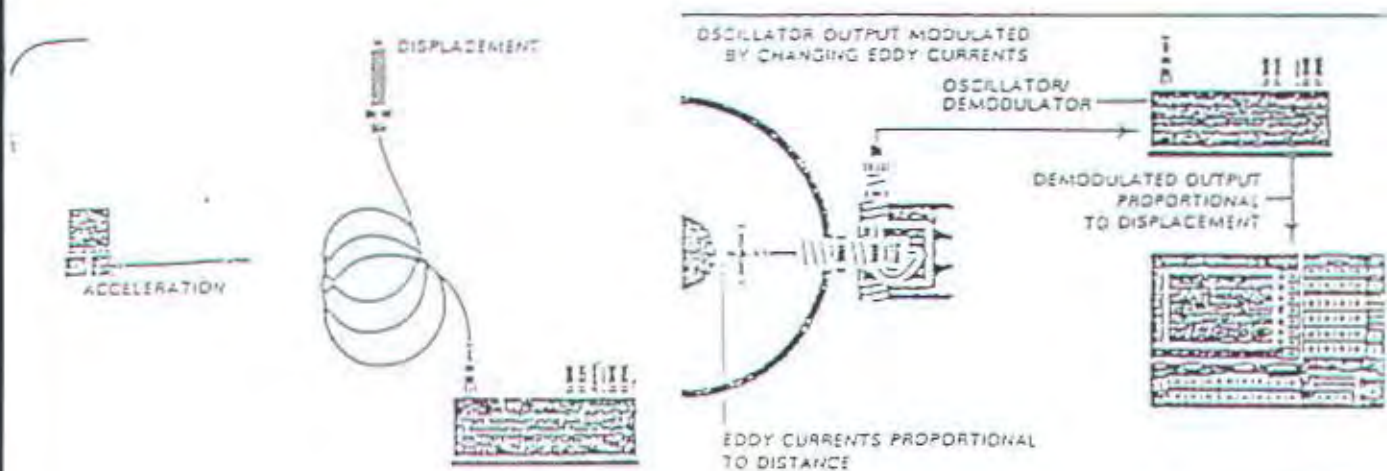
- ♦ Instrumentasi untuk mengukur level sinyal getaran.
- ♦ Instrumentasi untuk analisis sinyal getaran.

Proses analisis sinyal getaran ditujukan untuk mengetahui komponen sinyal yang menyusun sinyal yang terukur dalam domain waktu tersebut.

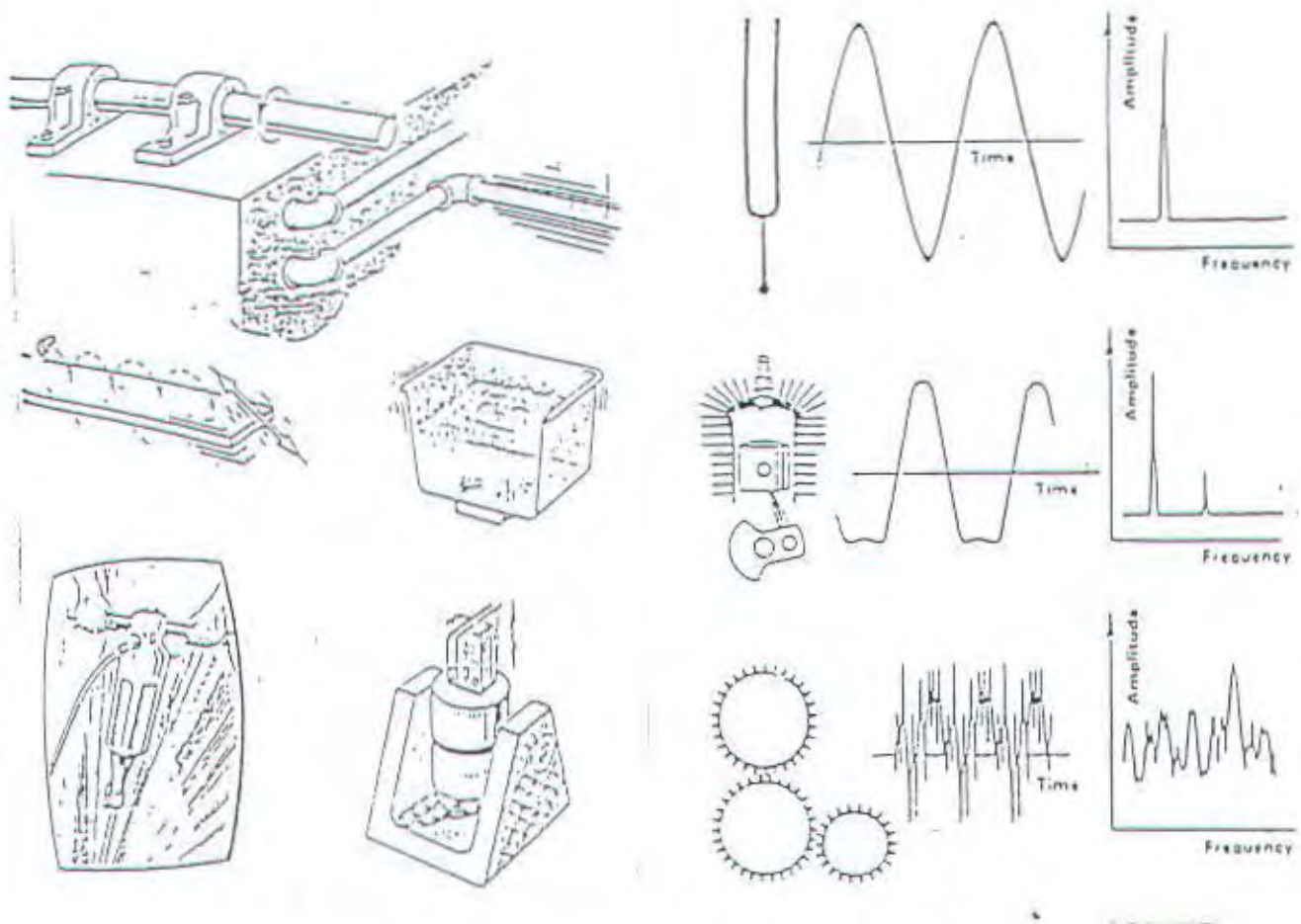
Data ini bisa dimanfaatkan lebih lanjut untuk :

- a. Sinyal dominan yang terdapat dalam sinyal terukur tersebut
- b. Diagnosis kerusakan suatu sistem getaran..
- c. Kegiatan *Predictive Maintenance* pada suatu unit mesin rotasi.

Fenomena getaran, transducer getaran dan alat ukur getaran yang digunakan dalam proses pengukuran diperlihatkan dalam gambar 3.1.







**Gambar 3.1 Fenomena Getaran, Sensor Getaran dan Alat Ukur**

Instrumentasi untuk analisis sinyal getaran ini bisa melakukan proses konversi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi serta dapat dibedakan menjadi :

a. Instrumentasi Analog

Instrumentasi untuk analisis sinyal getaran yang menggunakan konsep "Band-Pass-filter".

b. Instrumentasi Digital (Dynamic Signal Analyzer atau DSA)

Instrumentasi penganalisa ini menggunakan konsep Transformasi Fourier Cepat (Fast Fourier Transform).

Dalam kegiatan pengukuran sinyal getaran yang berasal dari suatu struktur dinamik, tujuannya antara lain :

- a. Untuk mengetahui besar amplitudo getaran.

Besaran ini dapat dibedakan menjadi :

➤ Harga Peak to Peak

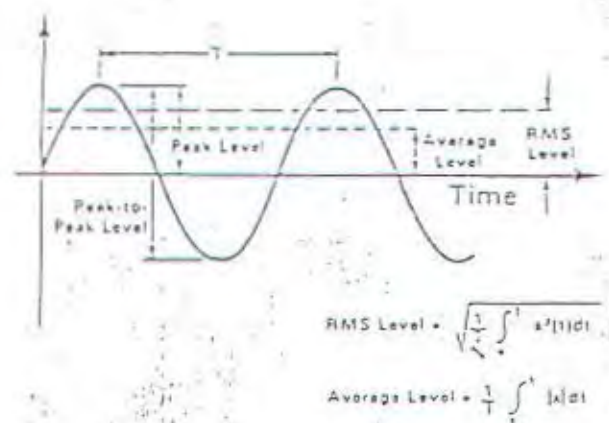
Besaran ini bisa dihubungkan dengan besarnya tegangan maksimum yang terjadi atau dihubungkan dengan celah (clearance) yang terjadi antara elemen rotasi dengan rumahnya.

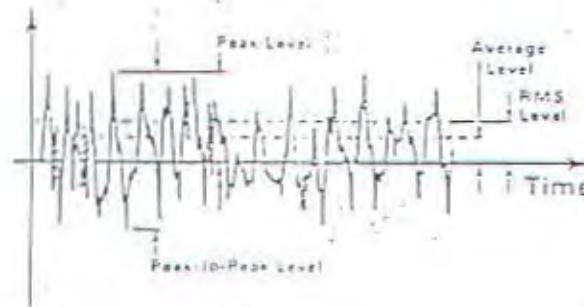
➤ Harga Puncak Maksimum

Besarnya harga puncak maksimum yang terdapat dalam pengamatan sinyal getaran.

➤ Harga RMS (Root Mean Square)

Semua besaran pengukuran amplitudo sinyal getaran tersebut diilustrasikan dalam Gb. 3.2.





**Gambar 3.2. Amplitudo Sinyal Getaran**

b. Untuk keperluan analisis struktur dinamik

Sinyal getaran yang terjadi pada suatu struktur sebenarnya mencirikan perilaku dinamik struktur tersebut karena respon getarannya tergantung pada perilaku dinamik dan stimulus yang bekerja pada stuktur tersebut.

Pengukuran untuk keperluan analisis struktur dinamik dapat dibedakan menjadi :

1. Pengukuran fungsi transfer suatu struktur dinamik

Fungsi transfer sebenarnya menyatakan hubungan antara stimulus yang bekerja pada suatu struktur dan respon dinamiknya.

Informasi yang diperoleh dari fungsi transfer ini adalah :

- ❖ Frekuensi pribadi sistem getar yang bisa dimanfaatkan untuk mengetahui frekuensi resonansi struktur yang bersangkutan.
- ❖ Dengan metode analisis tertentu (misal : Teknik curve-fitting dalam domain frekuensi) maka parameter modulus getar struktur tersebut yakni : frekuensi pribadi, rasio redaman, amplitudo



modus getar, massa rampat dan kekakuan rampat bisa diketahui.

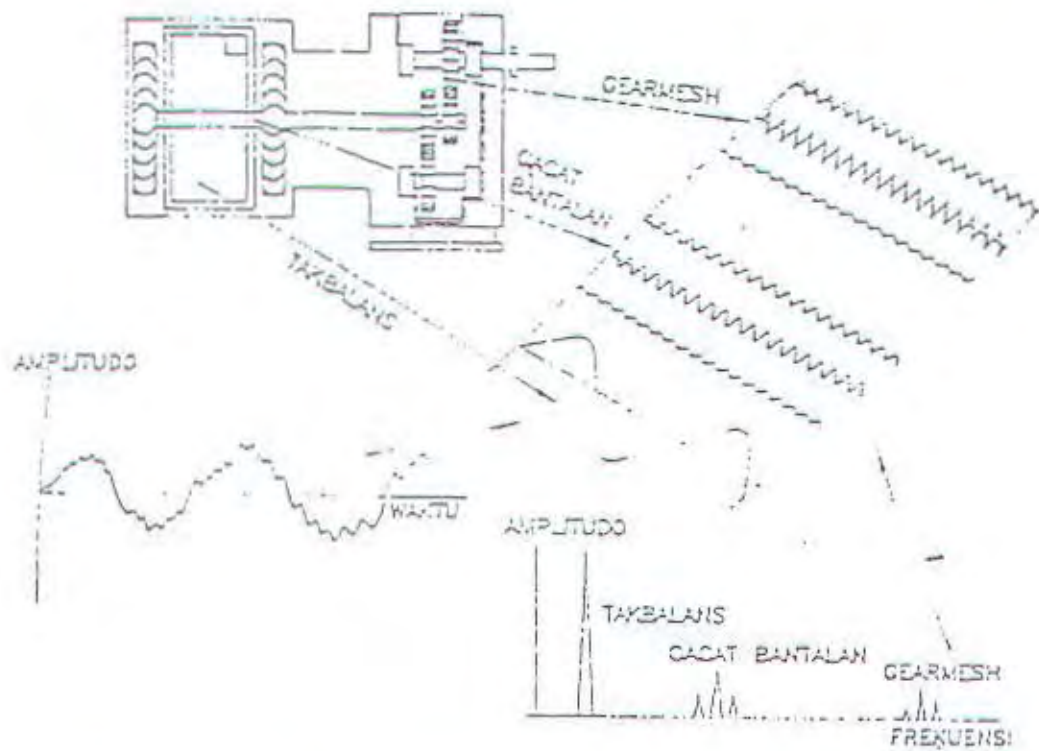
Besaran-besaran tersebut berguna dalam pembuatan model matematik (model teoritik) struktur yang bersangkutan atau digunakan untuk validasi model teoritik yang telah dikembangkan sebelumnya.

2. Pengukuran spektrum frekuensi suatu struktur dinamik

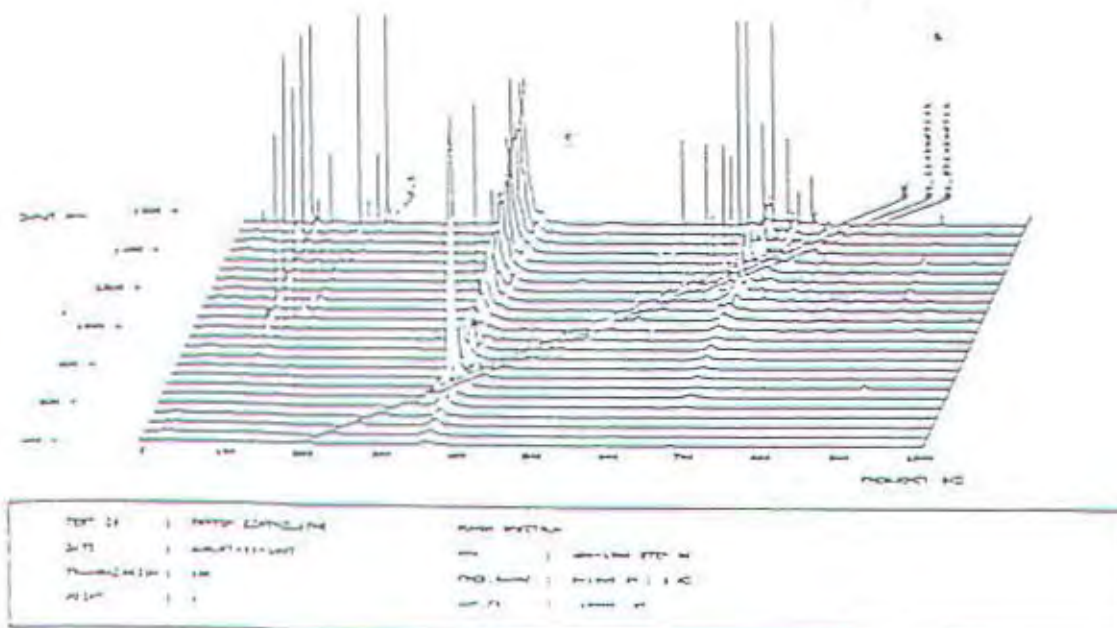
Pengukuran spektrum frekuensi hanya melibatkan pengukuran respon getaran struktur dalam domain frekuensi. Dalam pengukuran ini besaran yang terukur hanyalah respon saja sedang besaran stimulus tidak diketahui atau tidak terukur.

Dengan menggunakan metoda analisis tertentu, kumpulan spektrum frekuensi yang disusun dalam bentuk peta spektrum frekuensi dapat dimanfaatkan untuk keperluan diagnosis adanya cacat ataupun kerusakan yang mungkin terjadi pada elemem-elemen rotasi dalam suatu unit mesin-mesin rotasi (atau gear box). Kegiatan pengukuran ini biasanya dipadukan dengan analisis kebisingan.

Gambar berikut memperlihatkan aktifitas pengukuran getaran dan analisis kebisingan untuk keperluan diagnosis kerusakan.



Gambar 3.3. Pengukuran Spektrum Frekuensi Untuk Diagnosis Kerusakan



Gambar 3.4. Peta Spektrum Frekuensi Untuk Diagnosis Kerusakan

### 3.2.3. Sensor Getaran

Dalam pengukuran getaran, pemilihan jenis sensor yang digunakan tergantung pada :

- a. Jenis Amplitudo getaran yang akan diukur.

Misal : Amplitudo simpangan sinyal getaran

Amplitudo kecepatan sinyal getaran

Amplitudo percepatan sinyal getaran

Pada beberapa instrument penunjang misalnya : charge amplifier terdapat fasilitas untuk mengubah sinyal percepatan menjadi sinyal kecepatan ataupun menjadi sinyal simpangan getaran. Fasilitas berupa rangkaian integrator yang terdapat dalam instrument tersebut.

- b. Lebar daerah frekuensi pengukuran

Bila sinyal getaran tersebut mengandung sinyal-sinyal frekuensi rendah sampai tinggi, maka pengukuran dengan transducer simpangan cenderung sensitif untuk sinyal-sinyal frekuensi rendah sedangkan pengukuran dengan transducer percepatan (tergantung pada jenis transducernya) cenderung sensitif untuk sinyal frekuensi tinggi.

Pedoman yang bisa digunakan dalam pengukuran sinyal getaran adalah pemakaian jenis transducer yang bisa menghasilkan spektrum frekuensi sedatar mungkin.





### **Transducer Simpangan**

#### **1. Transducer Sentuh**

Untuk pengukuran amplitudo getaran secara mekanik dapat digunakan semacam "Dial-Indicator" yang ujung stilusnya disentuhkan pada permukaan yang bergetar.

#### **2. Transducer Elektrik Tidak Menyentuh**

Prinsip kerjanya berdasarkan pada efek eddy-current dengan cara menggunakan sinyal sinusoidal frekuensi tinggi (3 MHz). Gerak relatif poros terhadap permukaan sensor ini mengubah besar energi efek eddy-current tersebut yang memodulasi sinyal sinusoidal ini. Dilengkapi dengan oscillator/demodulator untuk mendemodulasi sinyal diatas sehingga menghasilkan sinyal keluaran berupa tegangan listrik yang sebanding dengan gerak relatif poros. Transducer jenis ini disebut juga Probe Eddy Current atau Probe Proximity.

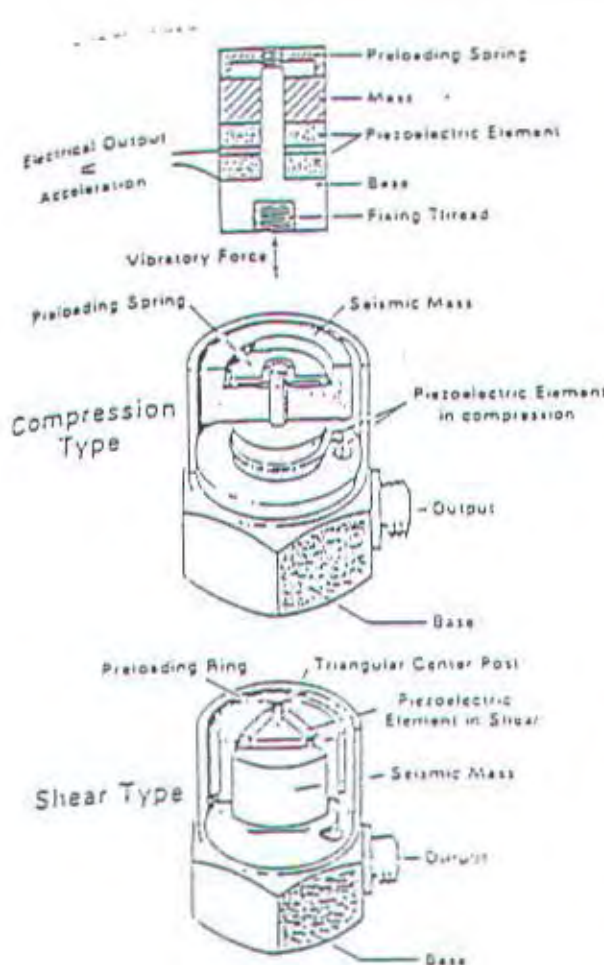
### **Transducer Simpangan**

Transducer ini terdiri atas massa seismik berkumparan listrik yang bergerak dalam medan magnet sedemikian rupa sehingga mampu mengukur amplitudo kecepatan getaran.

#### **Accelerometer (Tipe Piezoelectric)**

Accelerometer adalah jenis transducer yang umum digunakan dalam pengukuran sinyal getaran. Transducer ini biasanya menggunakan efek Piezoelectric, yakni

timbulnya muatan listrik pada permukaan keping kristal Piezoelectric karena adanya tekanan yang bekerja pada permukaannya. Karena menggunakan konsep Piezoelectric maka transducer digunakan bersama dengan "Charge Amplifier".



#### General Purpose Types



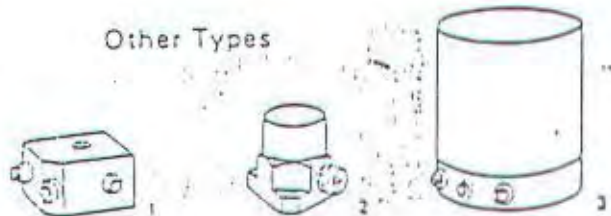
Sensitivity: 1 to 10 pC/ms<sup>-2</sup>  
Weight: 10 to 50 grammes  
Frequency Range: 0 to 12000 Hz

#### Miniature Types

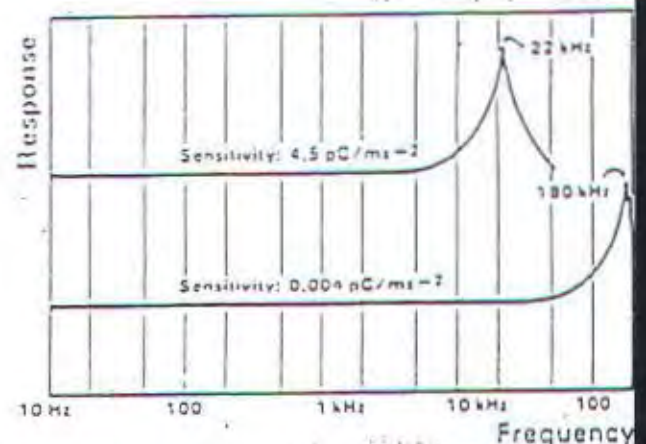
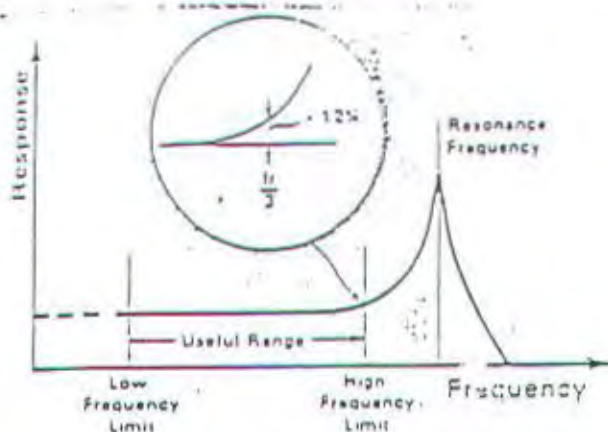


Sensitivity: 0.05 to 0.3 pC/ms<sup>-2</sup>  
Weight: 0.4 to 2 grammes  
Frequency Range: 1 to 25000 Hz

#### Other Types



- 1 For triaxial measurements
- 2 For permanent monitoring on industrial machines
- 2 For use in very high temperatures
- 3 For building and other structural vibration measurements
- 4 For calibration and other reference purposes
- 5 For very high shock measurements (1000 km/s<sup>2</sup> (100000 g))



Gambar 3.5. Rancangan, Tipe dan Daerah Frekuensi Accelerometer.



Adapun tahapan dalam pemilihan sensor getaran adalah sebagai berikut :

Tahap 1 : Tentukan obyek ukur yang diinginkan.

Tahap 2 : Pertimbangan Impedansi Mekanik.

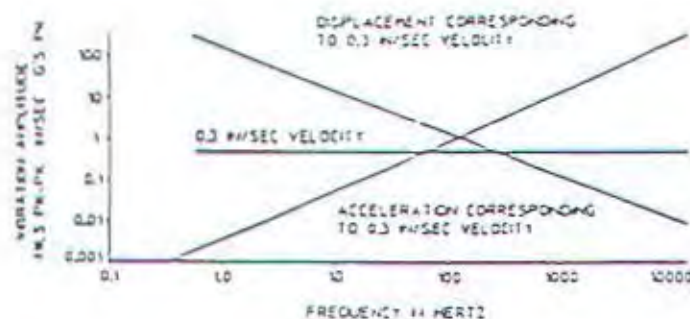
Setelah melewati tahap 2, maka sensor getaran yang dipilih dapat berupa : Sensor simpangan, atau sensor kecepatan dan sensor percepatan getaran.

Tahap 3 : Pertimbangan Frekuensi.

Dalam kasus ini pemilihan sensor getaran atas pertimbangan frekuensi adalah sebagai berikut :

- ✓ Bila frekuensi obyek ukur diatas 1000 Hz maka digunakan accelerometer.
- ✓ Bila frekunsinya berada antara 10 Hz sampai 1000 Hz maka dapat digunakan sensor atau accelerometer.

Hal ini diperlihatkan dalam gambar 3.6.



**Gambar 3.6. Sinyal Percepatan, Kecepatan dan Simpangan untuk Amplitudo Getaran Tertentu.**



Tahap 4 : Pertimbangan pemakaian sensor kecepatan dan percepatan getaran.

a. Pemakaian sensor kecepatan getaran.

- ♦ Rentang frekuensi pengukuran relatif lebar untuk pemantauan sinyal getaran karena adanya cacat/kerusakan.
- ♦ Selama pengukuran sensor dipegang dengan tangan.
- ♦ Putaran mesin relatif rendah (kurang 1200 rpm).
- ♦ Obyek uji jauh lebih besar daripada sensor kecepatan.

b. Pemakaian accelerometer.

- ♦ Frekuensi obyek ukur diatas 1000 Hz.
- ♦ Pengukuran fungsi transfer struktur.
- ♦ Sistem pengukuran terpadu yang memerlukan sensor berumur kerja lama (lebih dari dua tahun).
- ♦ Untuk pengukuran pada lingkungan yang bersuhu relatif tinggi.

Langkah selanjutnya setelah pemilihan sensor getaran adalah pemasangannya pada peralatan atau struktur. Jumlah sensor yang digunakan tergantung pada :

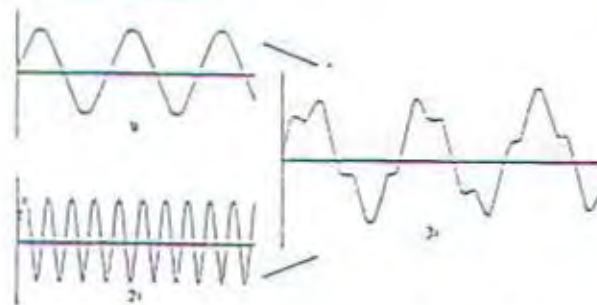
- Kritis tidaknya peralatan tersebut dalam rangkaian proses produksi diinstalasi tersebut. Semakin kritis peralatan tersebut maka jumlah titik pemantuan getaran semakin banyak sehingga jumlah sensor getarannya menjadi banyak.
- Biaya untuk perawatan ataupun pengantiannya. (Pertimbangannya serupa dengan pertimbangan butir diatas).

Sensor getaran dipasang pada bagian-bagian peralatan yang cukup kaku untuk menghindari efek resonansi lokal bagian tersebut. Pemasangan sensor getaran harus mengikuti petunjuk yang telah ditentukan oleh pabrik pembuat sensor tersebut.

### 3.2.4. Analisis Sinyal Getaran

#### 3.2.4.1. Sinyal Domain Waktu.

Salah satu parameter getaran yaitu amplitudo getaran digunakan sebagai indikator terhadap gejala getaran yang terjadi pada suatu struktur mesin. Bila terdapat lebih dari satu komponen getaran maka analisis sinyalnya dalam domain waktu menjadi lebih rumit. Gambar 3.7 berikut memperlihatkan adanya dua sinyal sinusoidal yang berbeda frekuensinya sehingga kombinasi keduanya menghasilkan sinyal getaran dalam domain waktu yang masing-masing komponennya sulit untuk diamati.



**Gambar 3.7.** Sinyal (3) sebagai kombinasi sinyal (1) dan sinyal (2).

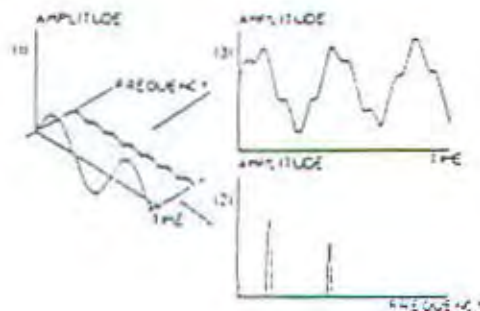
Sinyal getaran dalam domain waktu adalah sinyal getaran yang berada secara alami dan dapat dirasakan dengan indera peraba serta diamati dengan instrument sederhana misalnya oscilloscope. Walaupun analisis sinyal dalam domain waktu untuk berbagai sinyal getaran dalam praktek, sulit dilakukan



namun terdapat beberapa gejala getaran yang bermanfaat diamati dalam domain waktu.

#### 3.2.4.2. Data Domain Frekuensi.

Dalam praktek tidak ada sinyal getaran yang keberadaannya langsung dalam domain frekuensi. Sinyal getaran selalu terjadi dalam domain waktu tetapi untuk keperluan analisis sinyal getaran yang dalam domain waktu ini dapat dikonversikan kedalam frekuensi. Ilustrasi tentang konsep data dalam domain waktu dan dalam domain frekuensi diperlihatkan dalam gambar 3.8 gambar (1) memperlihatkan data dalam sistem koordinat 3 dimensi yang terdiri atas sumbu waktu, sumbu frekuensi dan amplitudo.



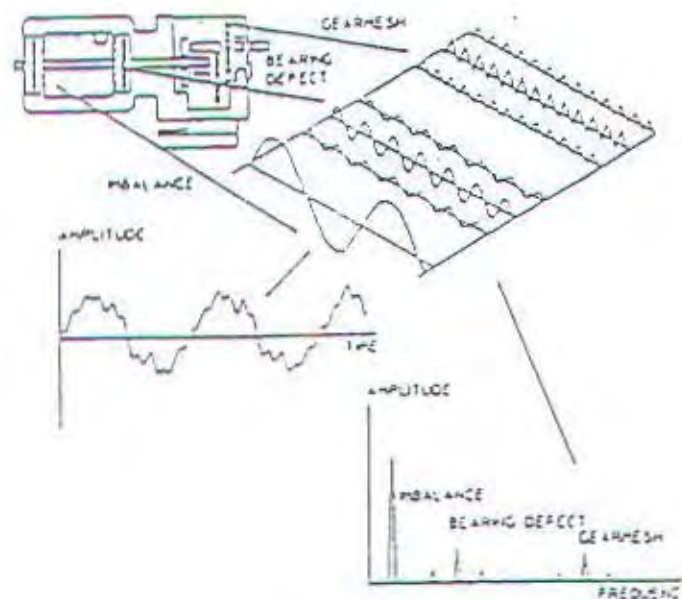
**Gambar 3.8. Hubungan Antara Data Domain Waktu Dengan Domain Frekuensi.**

Hubungan antara amplitudo dengan frekuensi ditunjukkan dalam gambar (2) sedangkan hubungan antara amplitudo terhadap waktu diperlihatkan dalam gambar (3). Data dalam domain waktu ternyata tersusun atas dua sinyal sinus yang frekuensinya berbeda seperti yang diperlihatkan oleh data dalam domain frekuensi. Dalam domain waktu masing-masing komponen sinyal sinus tidak



dapat teramati langsung sedangkan dalam domain frekuensi baik amplitudo maupun frekuensinya dapat diketahui dengan langsung.

Setiap sinyal dalam domain waktu dapat dinyatakan sebagai penjumlahan sinyal-sinyal sinusoidal yang amplitudo, frekuensi dan fasanya diketahui dalam domain frekuensi. Kemampuan ini dapat dimanfaatkan untuk analisis sinyal getaran dalam domain frekuensi seperti yang diperlihatkan dalam gambar 3.9.

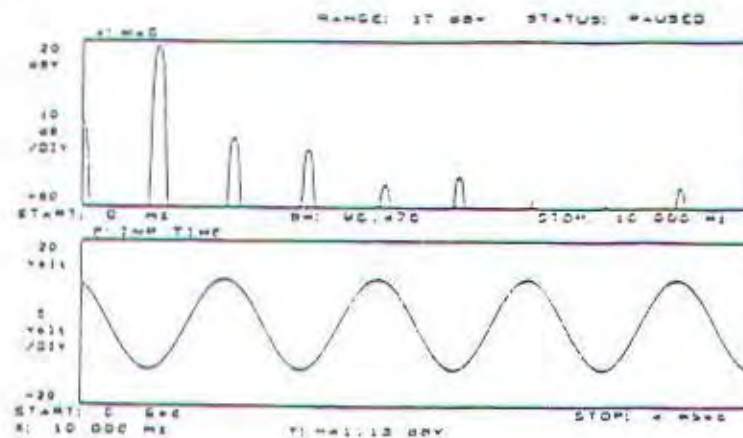


**Gambar 3.9 Data Domain Waktu Dan Domain Frekuensi Dari Sinyal Getaran Mesin.**

Konversi sinyal dalam domain waktu kedalam domain frekuensi memperlihatkan spektrum frekuensi sinyal getaran tersebut sehingga dapat diketahui amplitudo dan frekuensi masing-masing komponennya.

Sinyal getaran dalam domain waktu tidak mampu menunjukkan sinyal getaran dengan amplitudo kecil yang berasal dari cacat yang telah ada pada

elemen rotasi. Hal ini disebabkan karena jarum indikator instrument getaran penunjukannya didominasi oleh sinyal getaran yang amplitudonya besar. Demikian pula halnya bila sinyal getaran tersebut diamati dalam domain waktu dengan menggunakan oscilloscope seperti diperlihatkan dalam gambar 3.10.

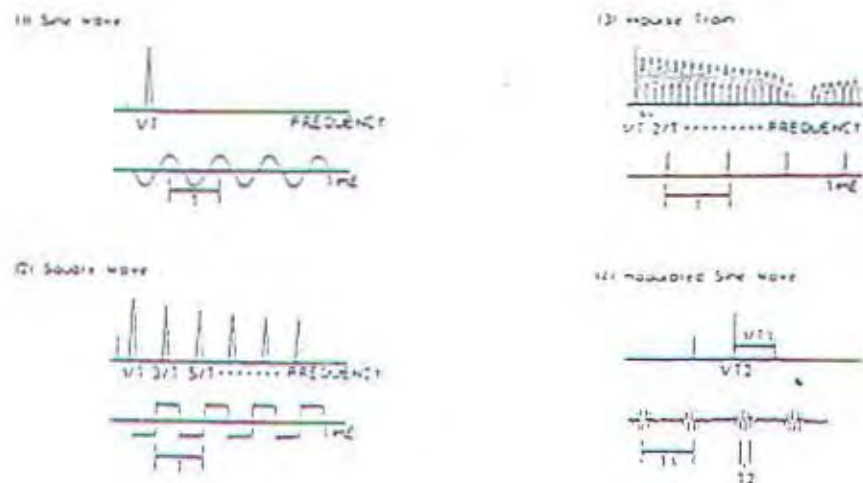


**Gambar 3.10. Sinyal Getaran Dalam Domain Waktu Menunjukkan Sinyal Dominan Saja.**

Dalam kasus ini sinyal getaran dalam domain waktu hanya menunjukkan sinyal dominan saja (skala 5 volt/div.) sedangkan sinyal getaran yang berasal dari cacat elemen rotasi dan besar amplitudonya dalam order millivolt tidak terlihat dengan jelas.

Konversi sinyal tersebut kedalam domain frekuensi serta penggunaan skala logaritmik untuk sumbu vertikal mampu memperlihatkan baik sinyal dominan maupun sinyal tak dominannya.

Gambar 3.11 berikut ini memperlihatkan contoh sinyal dalam domain waktu dan spektrum frekuensinya yang umum dijumpai dalam getaran permesinan.



Gambar 3.11. Sinyal Domain Waktu Dan Domain Frekuensinya.

### 3.2.5. Penganalisis Spektrum

Dalam pengukuran fungsi transfer maupun pengukuran spektrum frekuensi peranan penganalisa spektrum (Spektrum Analyzer; Dynamic Signal Analyzer) sangat penting karena proses transformasi sinyal getaran dari domain waktu ke domain domain frekuensi dilakukan oleh instrument ini. Data dalam domain frekuensi yang diperoleh dari penganalisa spektrum tersebut bisa berupa data : amplitudo, frekuensi dan fasa yang disajikan dalam bentuk spektrum frekuensi dan spektrum fasa. Data lainnya yang melibatkan dua sinyal adalah berupa : fungsi transfer, fungsi koherensi, fasa dan lainnya.



Penganalisa spektrum dapat dibedakan sebagai berikut :

1) Penganalisa Spektrum Dengan Filter Paralel.

Penganalisa spektrum ini memiliki beberapa “band pass filter” analog yang lebar “bandwidth”nya sepertiga atau satu octave dan besaran ini akan mempengaruhi resolusi data dalam domain frekuensi.

Pada umumnya penganalisa spektrum tipe ini memiliki resolusi yang rendah sehingga tidak cocok dipakai untuk analisis sinyal getaran, misalnya sinyal getaran yang berasal dari roda gigi, bantalan gelinding, dan elemen rotasi lainnya.

2) Penganalisa Spektrum Dengan Sweep-Filter.

Berlainan dengan penganalisa spektrum filter-paralel, maka pada penganalisa spektrum ini terdapat sebuah band-pass-filter yang frekuensi pusatnya bisa digeser baik secara manual maupun secara otomatis dan lebar “band” frekuensinya bisa diatur, misalnya : 1 Hz, 3Hz, 10 Hz atau 100 Hz.

Dengan demikian penganalisa spektrum ini memiliki resolusi frekuensi yang lebih cermat daripada penganalisa spektrum dengan filter paralel. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan alat ini untuk proses konversi sinyal adalah pemilihan parameter pengukuran berikut :

- ♦ Lebar daerah frekuensi pengukuran.
- ♦ Bandwith pengukuran yang berhubungan dengan kecermatan frekuensi hasil proses konversi data.
- ♦ Lama waktu pengukuran.

Disamping untuk proses konversi, penganalisa spektrum tipe ini bisa digunakan untuk keperluan analisis yang berhubungan dengan diagnosis kerusakan elemen rotasi. Keterbatasan dalam pemakaian penganalisis spektrum ini adalah :

- Proses konversi lambat.
- Tidak cocok untuk sinyal transient.

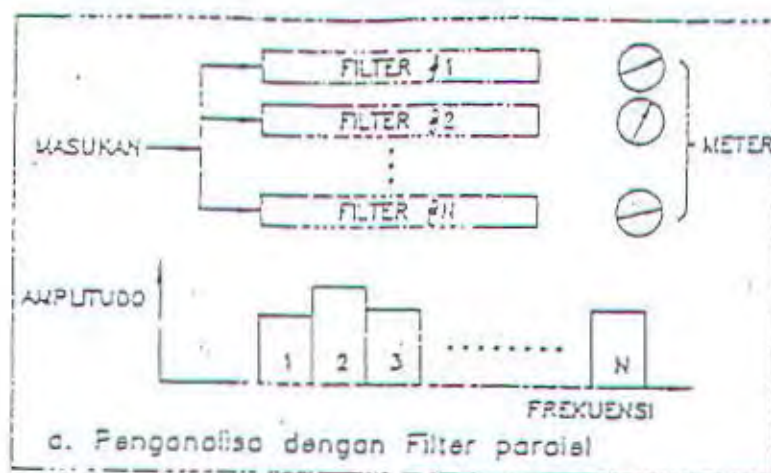
### 3) Penganalisa Spektrum Dengan Teknik Digital

Penganalisa spektrum ini dikenal dengan nama : Dynamic Signal Analyzer (DSA) yang menggunakan konsep pengolahan data secara digital. Proses konversi sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi menggunakan metoda Transformasi Fourier cepat atau Fast Fourier Transform dan data hasil konversi bisa dimanipulasi secara matematik sehingga misalnya data bisa disajikan dalam skala linear ataupun skala logaritmik.

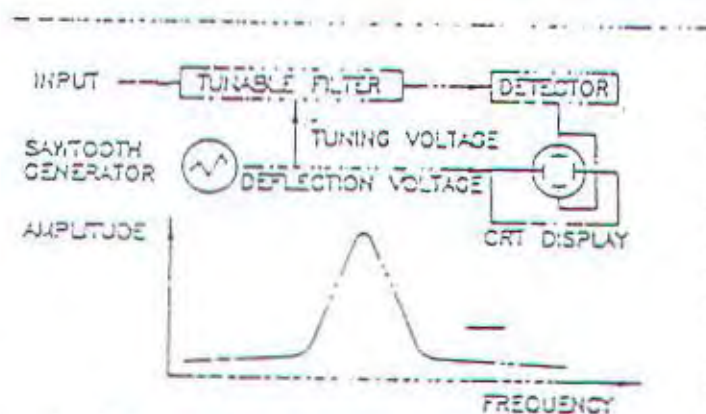
Proses konversi berlangsung sangat cepat (dalam order milisekon) dan penganalisa spektrum ini bisa dihubungkan dengan komputer melalui GPIB (General Purpose Interface Bus) sehingga proses pengukuran dan pengolahan data bisa dikontrol oleh komputer. Dengan kemampuan yang disebutkan diatas, maka DSA cocok untuk digunakan dalam analisis getaran maupun diagnosis kerusakan peralatan.

Ketiga tipe penganalisa spektrum ini diperlihatkan secara skematik secara skematik dalam gambar berikut :

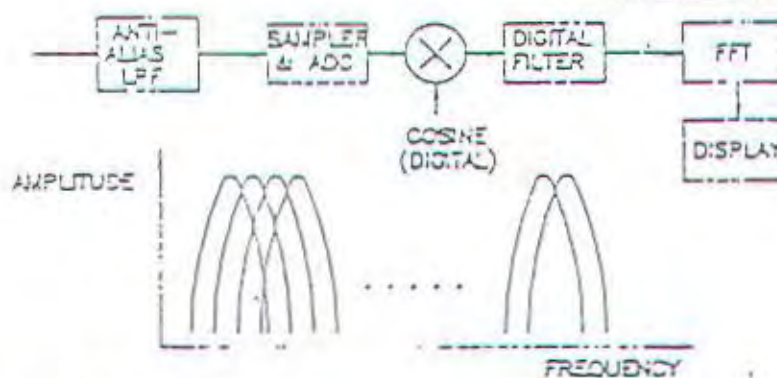




a. Penganalisa dengan filter paralel



b. Penganalisa dengan sweep-filter



c. Dynamic Signal Analyzer

Gambar 3.12. Tipe Penganalisa Spektrum



## BAB IV

### METODOLOGI DAN INSTRUMENTASI

#### 4.1. Spesifikasi Instrumentasi Utama

Pada percobaan ini peralatan yang digunakan untuk mendeteksi sinyal getaran adalah Machinery Analyzer MODEL 2120 produk dari CSI. Alat ini dapat menyimpan maksimal 300 titik pengukuran dalam sekali percobaan pengukuran dan ukurannya ringkas sehingga dapat dibawa ke mana-mana (portable). Prinsip kerjanya sama dengan Dinamic Signal Analyzer (DSA). Untuk pengolahan data hasil pengukuran di lapangan dibantu oleh sebuah software yaitu *Master Trend For Windows Using Mtwins* yaitu sebuah paket software untuk aplikasi RBM/PDM.

Percobaan pengukuran dilakukan pada feed water control valve yang dibuat oleh MASONEILAN dari Cockerill Mechanical Industries (CMI), spesifikasi utama dapat ditunjukkan di bawah ini :

- Designation : HP FeedWater Control Valve
- Size Diameter : 100 mm
- Body Type : Control Valve
- Pipe Diameter Thickness : 168.3/14.2
- Operator Temperature : 138 °C
- Design Pressure : 146 kg/cm<sup>2</sup>
- Design Temperature : 305 °C
- Manufacture Name : MASONEILAN

**Tugas Akhir**  
**KS 1701**

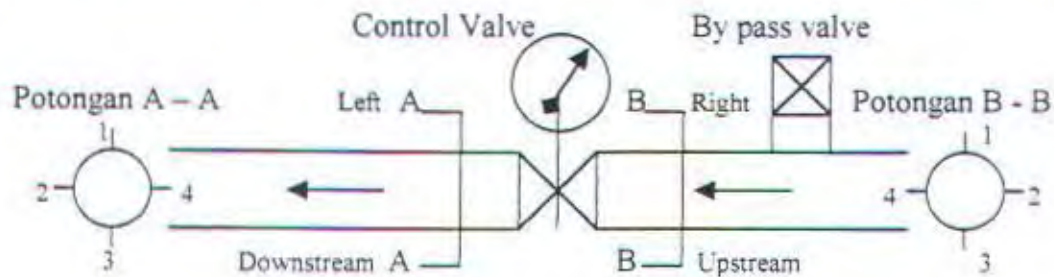
- Tag : LAB20AA005
- Specification Sheet : 41000
- Valve Size/CV : ND 100 (4") CV 95
- Fluid : Water (Liquid)
- Critical Pressure ( $\text{kgf/cm}^2 \text{ a}$ ) : 225.5

SERVICE CONDITION	MINI	NORMAL	OTHER	DESIGN
Flow Rate (t/h)	123	182	192.5	
Inlet Pressure ( $\text{kgf/cm}^2 \text{ g}$ )	119	102.5	99	145
Outlet Pressure ( $\text{kgf/cm}^2 \text{ g}$ )	49	78	91	
Pressure Drop ( $\text{kgf/cm}^2$ )	70	24.5	8	
Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	138	138	138	149
Gf	0.9299	0.9299	0.9299	
Viscosity (cpo)	1	1	1	
Fl	0.936	0.933	0.905	
Inlet Velocity(m/s)	5.5	8.2	8.7	
Outlet Pipe DN (mm)	150	150	150	
Thickness (mm)	14.20	14.20	14.20	
Flowing Condition	Subcrit	subcrit	Subcrit	
Calculated Cv	17.87	44.78	83.34	
Inlet Velocity (m/s)	5.5.	8.2	8.7	



Sound Level (dBA)	85.2	80.0	73.0	
Signal (%)	18.8	47.1	87.7	

Sedangkan skema pengujian control valve dapat dilihat pada gambar berikut ini :



**Gambar 4.1 Skema Pengujian Control Valve**

Keterangan : Titik pengukuran ke - 3 tidak dapat dilakukan karena tidak dapat dijangkau oleh stick pengukur.

#### 4.2. Prosedur Percobaan Dan Pengukuran Control Valve

Untuk mengetahui apakah control valve dapat diprediksi melalui level getaran yang ditimbulkan pada dinding pipa yang berada didekatnya maka dilakukan pengujian langsung pada control valve. Data percobaan akan diolah untuk mendapatkan karakteristik control valve yang berupa SPL dan perbandingan grafik antara sebelum dan sesudah overhaul. Pengujian dilakukan di PT. PLN Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa - Bali II Gresik khususnya di sistem instalasi turbin uap-nya.



Langkah – langkah pengambilan data adalah sebagai berikut :

a. Tahap persiapan

1. Sebelum diadakan pengujian perlu menetapkan kondisi operasi control valve yang layak dengan operator , baik di lokasi pengukuran maupun di Central Control Room (CCR). Menurut log sheet Unit Steam Turbine dan HRSG diketahui bahwa beban listrik hampir konstan pada pukul 09.00 hingga pukul 11.00 setiap harinya. Sehingga ditetapkan bahwa pada waktu tersebut merupakan kondisi yang paling baik untuk dilakukan pengukuran secara bersamaan.
2. Menyiapkan tabel untuk pencatatan percobaan pengukuran seperti sebagai berikut :
  - Tanggal
  - Q
  - Level valve
  - Tekanan
  - Temperatur
  - Unit
3. Menyiapkan peralatan *machinery analyzer model 2120* beserta stick pengukur guna menembus instalasi yang diukur.
4. Melakukan set up terhadap *machinery analyzer* untuk delapan pengukuran yaitu pada empat titik pipa di sebelah upstream disebut “right” dan empat titik pipa di sebelah downstream disebut “left” dari control valve. Untuk menjaga sensitifitas *machinery analyzer* terhadap perubahan perilaku

dinamik struktur control valve maka dilakukan pengukuran low frequency dan high frequency.

5. Melihat kartu kerusakan ketel untuk ketiga blok di ruang kontrol , dan instrumen diputuskan bahwa :

- CV HRSG 1.3 sudah lama belum diperbaiki
- CV HRSG 3.2 baru diperbaiki
- CV HRSG 3.3 sudah lama belum diperbaiki

b. Tahap pengukuran

1. Sebelumnya perlu dilakukan BAM Test , yaitu suatu pengujian yang dilakukan untuk memperoleh frekuensi natural dari control valve dengan cara memukul-mukul berkali-kali dengan kecepatan konstan dengan konstruksi control valve yang kemudian direkam pada machinery analyzer diambil  $f_n = 850$  Hz.
2. Pengukuran nyata parameter getaran dilakukan untuk pengukuran selama empat kali untuk control valve unit 1.3 ; 3.2 ; dan 3.3. (lihat gambar 4.1.).

#### **4.3. Sekilas Tentang Master Trend for Windows**

MasterTrend merupakan teknologi multi paket software analisis yang dirancang untuk digunakan bersama dengan Computational System Incorporated (CSI), Machinery Analyzer dan peralatan koleksi data lain. MasterTrend terdiri dari perlengkapan terpadu program software berbasis MS-Windows. Konfigurasi dalam MasterTrend, seperangkat sistem komputer, beserta dengan peralatan

koleksi data, yang menyusun Hardware dan software monitoring dan analisis yang dibutuhkan untuk program RBM (Reliability Based Maintenance).

Fungsi MasterTransfer dibagi dalam 3 kategori umum :

- RBM Database Administration – Mendefinisikan struktur database, daftar isi dan bagaimana men-set up nya.
- Diagnostics dan Reporting – Memplotkan tampilan dengan setting up dan membuat laporan.
- Proactive dan Data Entry – Program tambahan/bantu mencakup menu pilihan MTWIN III.

Semua modul individual yang terdiri dari MasterTrend merupakan menu yang dikendalikan dan dengan mudah diubah antara satu sama lain untuk membentuk paket software terpadu CSI menawarkan kepada mereka dalam 3 paket software : MTWIND I, MTWIND II, dan MTWIND III. Beberapa program didapat secara terpisah dan ditambahkan pada MTWIND I.



## BAB V

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian control valve ditampilkan dalam bentuk-bentuk tabel-tabel dan grafik. Semua grafik dalam tabel dilampirkan pada laporan ini. Pada bab ini akan dibahas tentang kemungkinan dipakainya machinery Analyzer Model 2120 sebagai alat pengukur getaran control valve. Untuk selanjutnya dikembangkan aplikasi program perawatan prediktif untuk memprediksi tingkat kerusakan control valve.

1. Data-data getaran yang diperoleh dari percobaan pengukuran dikonversi ke satuan dB. Untuk konversinya digunakan rumus (khusus untuk pipa 4 inch)

$$\text{SPL} = 10 \log (6 \times 10^{13} a^2/t^2)$$

dimana :

a = acceleration (G-s)

f = frekuensi (Hz)

Contoh :

S-T pengukuran pipa CV HRSG 1.3 PCV 1.3 – R12 Right 1 Low Route  
spectrum 31 Januari 2000, jam : 10.19.36

$$\begin{aligned}\text{SPL}_{\text{UKUR}} &= 10 \log (6 \times 10^{13} a^2/t^2) \\ &= 10 \log (6 \times 10^{13} 0.01819^2/1042.5^2) \\ &= 42.617 \text{ dB}\end{aligned}$$

Untuk mempermudah analisis data, semua data ditampilkan ke dalam bentuk tabel (lihat lampiran A)

2. Menentukan SPL berdasarkan desain konstruksi control valve dengan menggunakan rumus.

$$SPL = 10 \log CV + 20 \log \Delta p - 30 \log (t) + 70.5$$

dimana :

$$CV = 1.16 W / \sqrt{(Gf \times \Delta p)}$$

W = Laju Aliran (lb/hr, 1000 kg/hr)

Gf = Gas Specific Gravity

$\Delta p$  = Penurunan Tekanan (psi, bar)

t = Tebal Dinding Pipa (inches, mm)

Contoh :

Kondisi saat pengukuran dilakukan, data pada Central Control Room didapat :

$$Q = 149 \text{ ton/h}$$

$$\Delta p = 116 \text{ kg/cm}^2$$

$$t = 14.2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} SPL &= 10 \log 1.16 \cdot 149 \sqrt{(0.9299 \times 116)} + 20 \log 116 - 30 \log 14.2 + \\ &70.5 \\ &= 89.433 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dan selanjutnya semua data ditampilkan dalam bentuk tabel (lihat lampiran A)

3. Kemudian membandingkan data-data hasil pengukuran dan hasil perhitungan dalam bentuk grafik-grafik yang dapat dilihat pada lampiran A, dimana sumbu x adalah pengukuran ke -, sumbu y adalah SPL dengan unit dB. Dari sebagian besar grafik mempunyai karakter trend yang hampir sama antara hasil pengukuran menggunakan Machinery Analyzer dengan hasil perhitungan

menggunakan rumus yang berasal dari desain konstruksi control valve (gambar 1, gambar 7, gambar 10, gambar 11, gambar 12, gambar 16, gambar 17, gambar 21, gambar 25, gambar 27, gambar 29, dan gambar 34).

Dan sebagian lagi masih belum memuaskan untuk dilakukan pengambilan kesimpulan. Hal ini disebabkan oleh kendala-kendala sebagai berikut :

- Penggunaan stick pengukur akibat adanya isolasi yang menyelubungi permukaan control valve. Yang paling bagus memakai magnetic holder karena dapat menempel dengan kuat sehingga tidak mudah goyah.
  - Ketergantungan percobaan pengukuran terhadap operasi control valve dalam memenuhi kebutuhan sistem instalasi. Jadi parameter-parameter yang ada semuanya berubah terhadap waktu tergantung beban listrik yang dibutuhkan oleh konsumen seperti kapasitas (Q), level valve (%), dan tekanan (P).
4. Dalam mengaplikasikan alat tersebut untuk tujuan perawatan prediktif pada control valve yaitu sebuah program yang dikembangkan atas dasar suatu hipotesa bahwa suatu peralatan hanya diperbaiki dan diganti bila peralatan tersebut berada pada suatu kondisi dimana kerusakan yang menyebabkan biaya tinggi hampir terjadi, maka perlu dilakukan pengolahan data kembali dengan langkah-langkah sebagai berikut :
- Dari data-data yang telah ditabelkan dalam lampiran A dibuat grafik dengan sumbu x sebagai hari dan sumbu y sebagai SPL dengan unit dB. (Lihat lampiran A)



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN**

Dari hasil analisa karakter trend antara grafik SPL perhitungan dan SPL pengukuran ada beberapa kesamaan trend line sehingga Machinery Analyzer dapat digunakan sebagai alat ukur getaran yang disebabkan oleh kebisingan aliran dengan catatan bahwa peralatan tersebut di set up pada low frekuensi 0 - 3000 Hz dan high frekuensi 0 - 8000 Hz. Seperti kita ketahui bahwa HP Feed Water Control Valve bekerja pada kapasitas, tekanan serta kecepatan yang tinggi, sehingga menghasilkan frekuensi bunyi atau getaran tinggi.

Dilihat dari titik puncak tertinggi dalam setiap pengukuran maka dapat dipastikan bahwa getaran tinggi yang terjadi bukan akibat peristiwa resonansi karena frekuensi amplitudo tertinggi tidak sama dengan frekuensi naturalnya melainkan murni akibat fluida yang menumbuk valve plug.

Dari perbandingan kondisi HP Feed Water Control Valve antara sebelum overhaul (pada HRSG 1.3 dan 3.3) dan setelah overhaul (pada HRSG 3.2) serta setelah dibandingkan dengan standar kebisingan yang dikeluarkan oleh OSHA guideline, maka kebisingan control valve masih di bawah standar yang diijinkan sehingga belum perlu dilakukan overhaul.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arant, J. B., *How to Cope with Control Valve Noise*, Instrumentation Technology, March 1973.
- Bagiasna K, Abidin Z dan Mahyudin A.I, *Predictive Maintenance Dengan Topik Teknik Pengukuran*, Laboratorium Dinamika – Ilmu Rekayasa Pusat Antar Universitas, ITB, 1994.
- Firmanto, A dan Sari, H.S, *Penerapan Predictive Maintenance Di PLTU Gresik*, PT. PLN (Persero) Pembangkitan Dan Penyaluran Jawa Bagian Timur Dan Bali Sektor Gresik, Oktober 1994.
- Moedjiono, *Control Valve Sizing Dan Calculation*, Disajikan Didalam Program Bimbingan Profesi Sarjana Teknik XI Tahun 1987/1988 Di Pertamina Unit Pengolahan IV Cilacap.
- Skousen, P.L, *Valve Handbook*, Valtek International, Mc Graw Hill, 1998.
- Schwabe, M.J, *Machinery Vibration Analysis as A Planning Tool for Ships In A Five - Year Maintenance Life - Cycle*, Naval Engineers Journal, February 1980.
- The Editors of Instrumentation/Technology, *Instrumentation & Control System Engineering Handbook*.
- Hofmann, S.L, *Vibration Analysis for Preventive Maintenance : A classical Case History*, Marine technology, Vol. 24 No.4, October 1987.

## LAMPIRAN A



Tabel 1 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 1(Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.01819	1042.5	116	42.61664521	89.43248084
2	148	0.02209	1237.5	63	42.81452267	85.42647372
3	161	0.04639	1095	113	50.32171757	89.59818373
4	151	0.05671	1098.5	114	52.03870422	89.37709057

Tabel 2 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 1 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.06177	7490	116	36.10742818	89.43248084
2	148	0.08984	7510	63	39.33810863	85.42647372
3	161	0.07666	1090	113	54.72435884	89.59818373
4	151	0.03687	7400	114	31.73034086	89.37709057

Tabel 3 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 2 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.02429	1072.5	116	44.88211678	89.43248084
2	148	0.02893	1080	63	46.34000607	85.42647372
3	161	0.01929	900	113	44.40330687	89.59818373
4	151	0.03027	1080	114	46.73328581	89.37709057

Tabel 4 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 2 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.0564	7300	116	35.54063738	89.43248084
2	148	0.06783	7480	63	36.93191689	85.42647372
3	161	0.02673	7000	113	29.41953088	89.59818373
4	151	0.0376	1060	114	48.7791521	89.37709057

Tabel 5 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 4 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.01721	1192.5	116	40.96796216	89.43248084
2	148	0.01697	1185	63	40.90078234	85.42647372
3	161	0.01697	1050	113	41.95136337	89.59818373
4	151	0.02173	1185	114	43.04834002	89.37709057

Tabel 6 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Right 4 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.03394	7690	116	30.67722247	89.43248084
2	148	0.03394	7690	63	30.67722247	85.42647372
3	161	0.04028	7290	113	32.62875118	89.59818373
4	151	0.129	7256.5	114	42.77876272	89.37709057

Tabel 7 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 1 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.03113	1095	116	46.85681253	89.43248084
2	148	0.01147	577.5	63	43.74174109	85.42647372
3	161	0.01782	750	113	45.29844123	89.59818373
4	151	0.01123	720	114	41.6424577	89.37709057

Tabel 8 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 1 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm <sup>2</sup> )	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.04712	1100	116	50.41776444	89.43248084
2	148	0.02612	6800	63	29.4707977	85.42647372
3	161	0.02637	760	113	48.58744325	89.59818373
4	151	0.02161	6820	114	27.79892035	89.37709057





Tabel 9 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 2 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.05469	1177.5	116	51.12045266	89.43248084
2	148	0.05298	1087.5	63	51.53516627	85.42647372
3	161	0.01105	1072.5	113	38.04081205	89.59818373
4	151	0.02112	1065	114	43.72839863	89.37709057

Tabel 10 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 2 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.0564	1180	116	51.36945444	89.43248084
2	148	0.04364	7310	63	33.3008598	85.42647372
3	161	0.03149	6990	113	30.8554222	89.59818373
4	151	0.05215	7014.4	114	35.2067882	89.37709057

Tabel 11 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 4 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.02246	1177.5	116	43.39048923	89.43248084
2	148	0.02319	1102.5	63	44.23995551	85.42647372
3	161	0.04297	1102.5	113	49.59724761	89.59818373
4	151	0.04118	1166.5	114	48.73754449	89.37709057

Tabel 12 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 1.3 Left 4 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	149	0.06445	7510	116	36.4531722	89.43248084
2	148	0.03906	6900	63	32.83917547	85.42647372
3	161	0.07129	1100	113	54.01423109	89.59818373
4	151	0.0437	7280	114	33.34851366	89.37709057



Tabel 13 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 1 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.0083	1732.5	115	31.38960949	88.94755361
2	113	0.01904	1065	117	42.82785923	88.28732068
3	116	0.03418	1125	119	47.43390322	88.51153264
4	136	0.03777	1099.6	116	48.49975758	89.03600724

Tabel 14 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 1 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.08594	7160	115	39.36715904	88.94755361
2	113	0.119	7120	117	42.24285186	88.28732068
3	116	0.1	7410	119	40.38514834	88.51153264
4	136	0.04761	7530	116	33.79957661	89.03600724

Tabel 15 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 2 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.02551	1065	115	45.36872952	88.94755361
2	113	0.0166	1072.5	117	41.57572825	88.28732068
3	116	0.05981	1065	119	52.7699964	88.51153264
4	136	0.00861	1065	116	35.93458338	89.03600724

Tabel 16 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 2 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.06543	6980	115	37.21994246	88.94755361
2	113	0.09473	6780	117	40.68666937	88.28732068
3	116	0.07666	7010	119	38.55852844	88.51153264
4	136	0.06641	6990	116	37.33663859	89.03600724

Tabel 17 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 4 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.04053	1065	115	49.39005242	88.94755361
2	113	0.01367	2985	117	30.99799609	88.28732068
3	116	0.02417	1185	119	43.97267851	88.51153264
4	136	0.052	1068	116	51.53015432	89.03600724

Tabel 18 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Right 4 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.09131	7430	115	39.57210308	88.94755361
2	113	0.169	7500	117	44.83802133	88.28732068
3	116	0.08838	7190	119	39.57401464	88.51153264
4	136	0.05176	7160	116	34.96313741	89.03600724

Tabel 19 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 1 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.02344	1147.5	115	43.98561077	88.94755361
2	113	0.01056	1927.5	117	32.55490313	88.28732068
3	116	0.01349	1072.5	119	39.77380548	88.51153264
4	136	0.03467	1087.5	116	47.85200402	89.03600724

Tabel 20 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 1 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.03149	1080	115	47.07649061	88.94755361
2	113	0.201	7430	117	46.42565738	88.28732068
3	116	0.05957	7340	119	35.96814331	88.51153264
4	136	0.0437	6560	116	34.25306446	89.03600724



Tabel 21 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 2 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.01953	930	115	44.2258984	88.94755361
2	113	0.02991	832.5	117	48.89015592	88.28732068
3	116	0.02454	1020	119	45.40700024	88.51153264
4	136	0.0188	1177.5	116	41.84545117	89.03600724

Tabel 22 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 2 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.05298	7240	115	35.06898026	88.94755361
2	113	0.06689	6920	117	37.48661453	88.28732068
3	116	0.07861	7050	119	38.72728609	88.51153264
4	136	0.04662	7693.4	116	33.43059162	89.03600724

Tabel 23 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 4 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.02466	1140	115	44.48327692	88.94755361
2	113	0.03857	1170	117	48.14278805	88.28732068
3	116	0.0354	1095	119	47.97329536	88.51153264
4	136	0.01516	1075	116	40.76732724	89.03600724

Tabel 24 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.2 Left 4 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	135	0.07031	7150	115	37.63573363	88.94755361
2	113	0.06787	7240	117	37.22029816	88.28732068
3	116	0.0874	7230	119	39.42897521	88.51153264
4	136	0.0327	6920	116	31.27034567	89.03600724



Tabel 25 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 1 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.06006	1155	118.6	52.10157938	88.91711835
2	100	0.05371	1087.5	119	51.65403024	87.86695274
3	94	0.04321	1132.5	119	49.41243362	87.59823128
4	130	0.137	1076.6	116	59.87483634	88.84005168

Tabel 26 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 1 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.06177	7390	118.6	36.22417576	88.91711835
2	100	0.06299	6990	119	36.87740116	87.86695274
3	94	0.07959	6980	119	38.92157415	87.59823128
4	130	0.204	1080	116	63.30564074	88.84005168

Tabel 27 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 2 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.03418	615	118.6	52.67945136	88.91711835
2	100	0.07373	1095	119	54.3461148	87.86695274
3	94	0.0625	1095	119	52.91083047	87.59823128
4	130	0.04565	652.5	116	54.67871782	88.84005168

Tabel 28 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 2 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.07178	1090	118.6	54.15305162	88.91711835
2	100	0.102	7200	119	40.80686601	87.86695274
3	94	0.08643	1090	119	55.76627281	87.59823128
4	130	0.07484	6926.9	116	38.45340972	88.84005168

Tabel 29 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 4 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.06934	1095	118.6	53.81290687	88.91711835
2	100	0.06934	1095	119	53.81290687	87.86695274
3	94	0.06738	1095	119	53.56385025	87.59823128
4	130	0.131	1061.4	116	59.60935675	88.84005168

Tabel 30 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Right 4 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.06543	7070	118.6	37.10866263	88.91711835
2	100	0.08936	3010	119	47.23304579	87.86695274
3	94	0.12	7160	119	42.26687698	87.59823128
4	130	0.145	1060	116	60.50275524	88.84005168

Tabel 31 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 1 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.0415	945	118.6	50.63383827	88.91711835
2	100	0.05127	1012.5	119	51.87087821	87.86695274
3	94	0.08105	1170	119	54.59285565	87.59823128
4	130	0.02548	1098.5	116	45.08949975	88.84005168

Tabel 32 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 1 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.0603	950	118.6	53.83338664	88.91711835
2	100	0.05981	7050	119	36.35320621	87.86695274
3	94	0.05432	1130	119	51.41913886	87.59823128
4	130	0.04883	1030	116	51.2985025	88.84005168



Tabel 33 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 2 (Low)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.04224	1087.5	118.6	49.56740538	88.91711835
2	100	0.289	1087.5	119	66.27088405	87.86695274
3	94	0.05078	532.5	119	57.36897419	87.59823128
4	130	0.03516	555	116	53.81663017	88.84005168

Tabel 34 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 2 (Hight)

Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.08838	7050	118.6	39.74481011	88.91711835
2	100	0.05054	7020	119	34.92747501	87.86695274
3	94	0.07715	6910	119	38.73867016	87.59823128
4	130	0.07781	6934.2	116	38.78229354	88.84005168

Tabel 35 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 4 (Low)

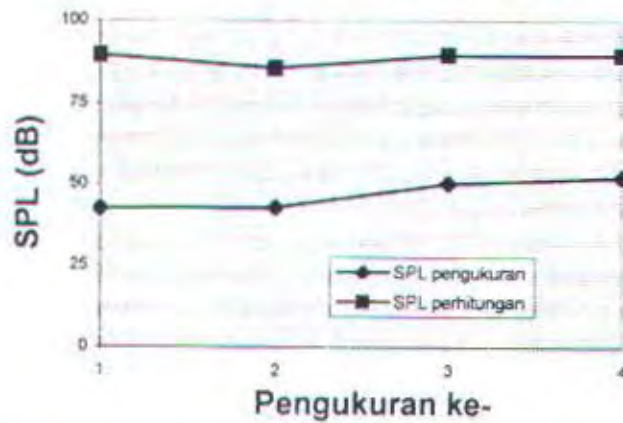
Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.09131	1102.5	118.6	56.1443074	88.91711835
2	100	0.06934	570	119	59.48369214	87.86695274
3	94	0.08057	1125	119	54.88192933	87.59823128
4	130	0.02548	1098.5	116	45.08949975	88.84005168

Tabel 36 S.T Pengukuran Pipa CV HRSG 3.3 Left 4 (Hight)

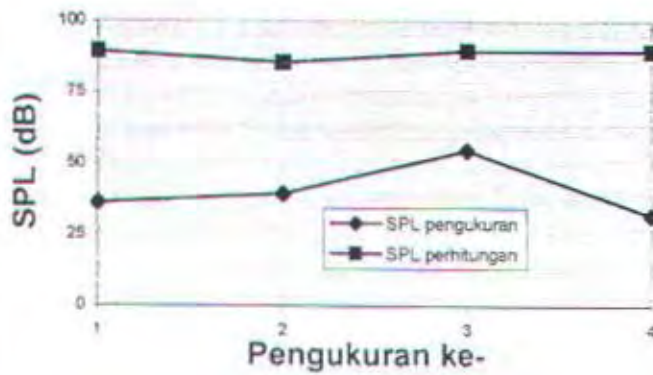
Pengukuran ke-	Kapasitas Q (ton/h)	Acceleration a (G-s)	Frekuensi f (Hz)	Tekanan (Kg/cm2)	SPL Ukur (dB)	SPL Hit (dB)
1	128	0.121	1100	118.6	58.60936621	88.91711835
2	100	0.389	7200	119	52.4338546	87.86695274
3	94	0.101	6920	119	41.06581809	87.59823128
4	130	0.06348	6920	116	37.03212898	88.84005168



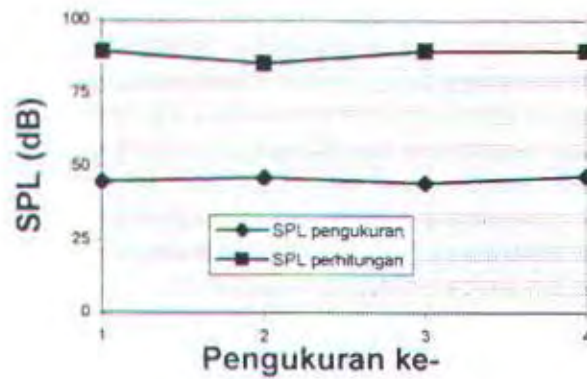
Gambar 1  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 1 LOW)



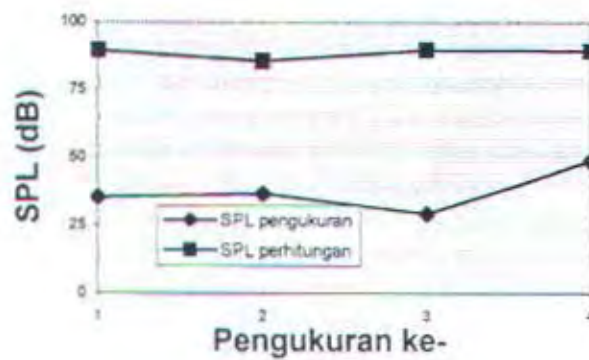
Gambar 2  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT1 HIGHT)



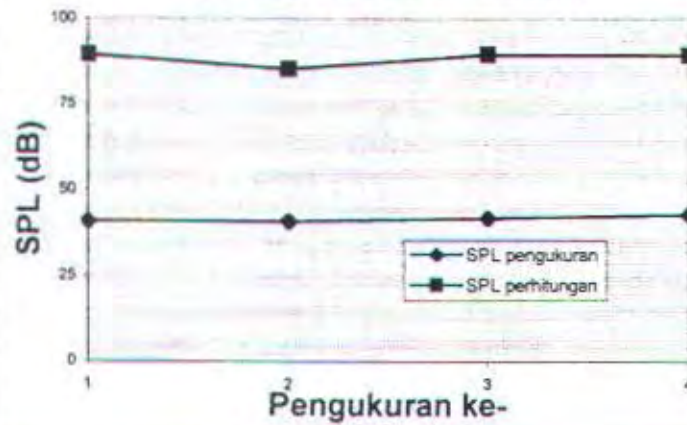
Gambar 3  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 2 LOW)



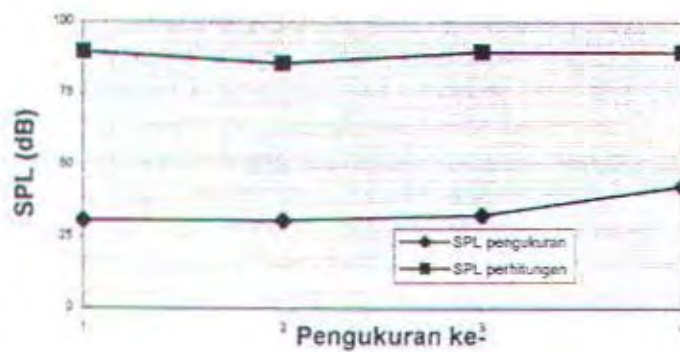
Gambar 4  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 2 HIGHT)



Gambar 5  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 4 LOW)

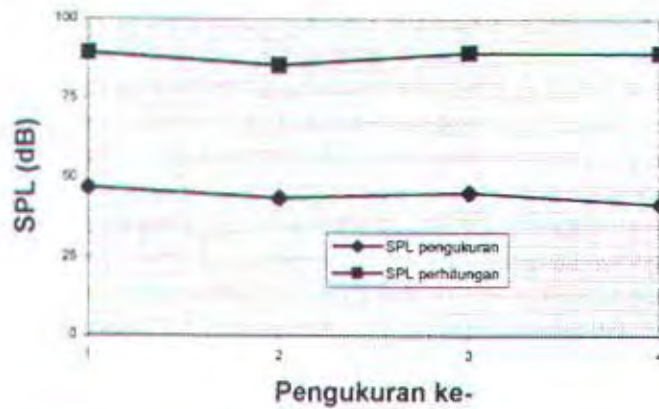


Gambar 6  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 4 HIGHT)

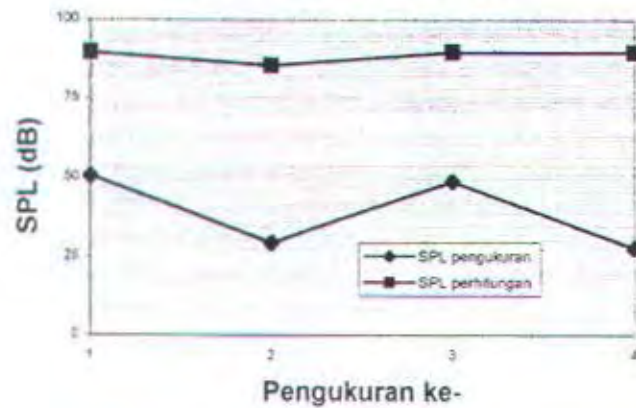




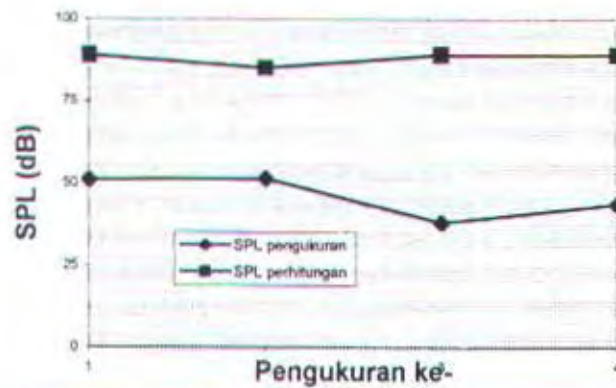
Gambar 7  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 LEFT 1 LOW)



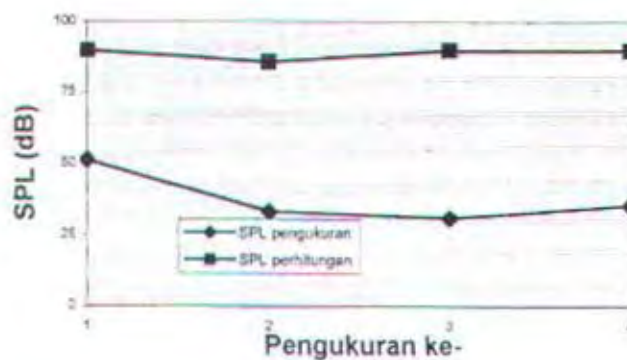
Gambar 8  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 LEFT 1 HIGHT)



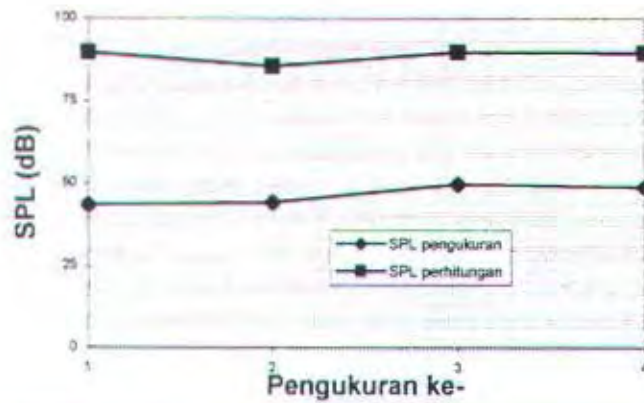
Gambar 9  
 PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 1.3 LEFT 2 LOW)



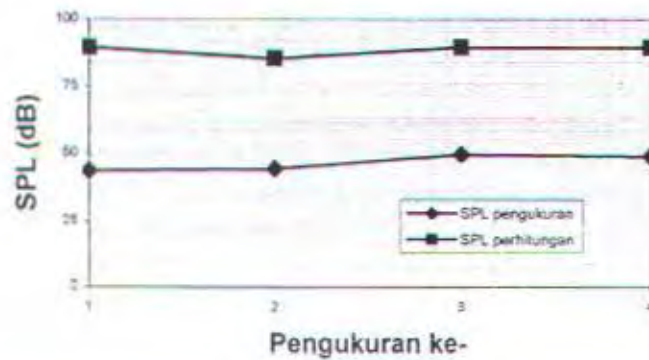
Gambar 10  
 PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 1.3 LEFT 2 HIGHT)



Gambar 11  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 LEFT 4 LOW)

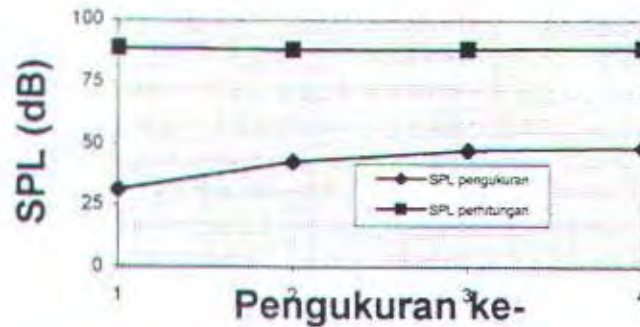


Gambar 12  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 LEFT 4 LOW)

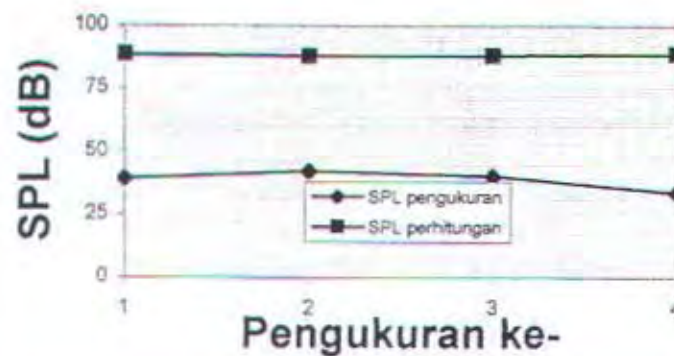




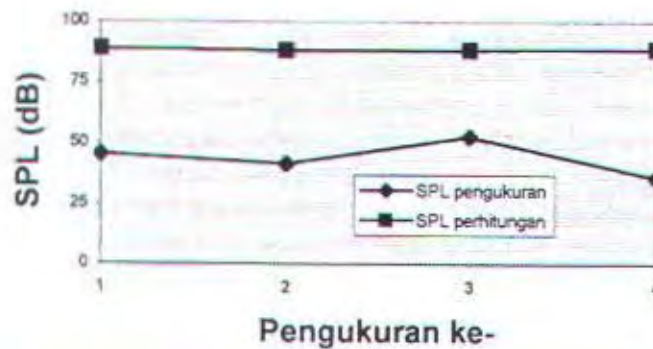
Gambar 13  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 RIGHT 1 LOW)



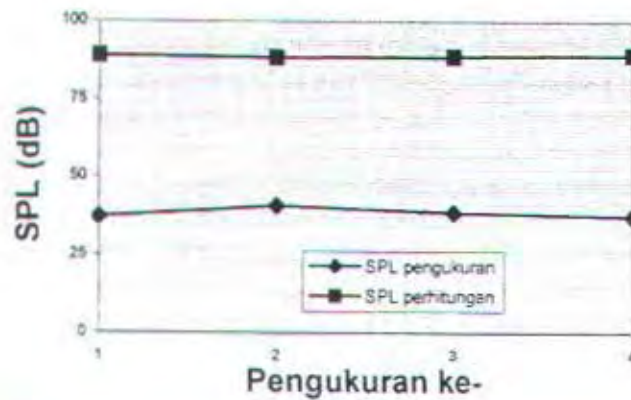
Gambar 14  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 RIGHT 1 HIGHT)



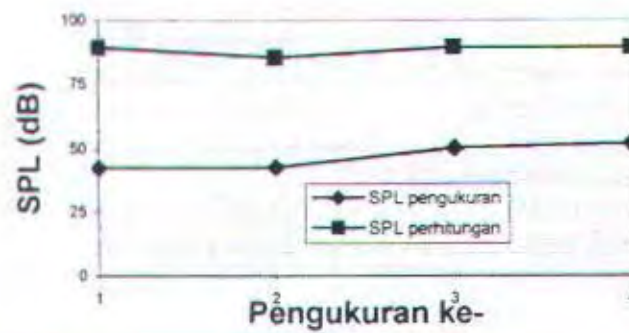
Gambar 15  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.2 RIGHT 2 LOW)**



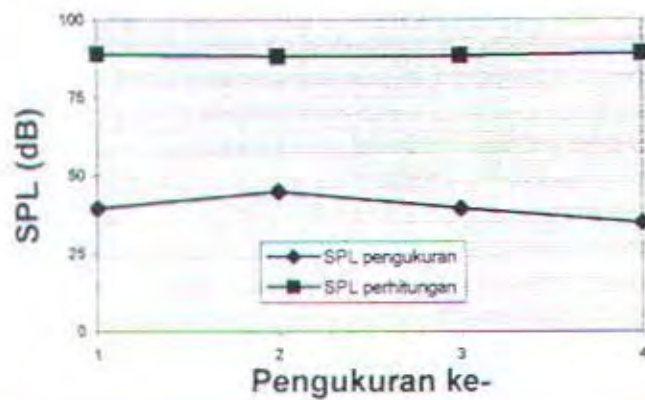
Gambar 16  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.2 RIGHT 2 HIGHT)**



Gambar 17  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.2 RIGHT 4 LOW)**

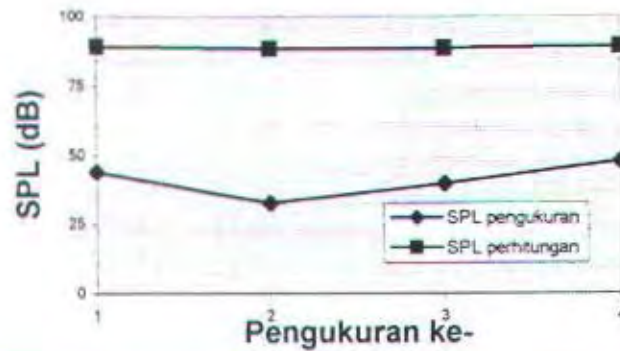


Page 18  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.2 RIGHT 4 HIGHT)**

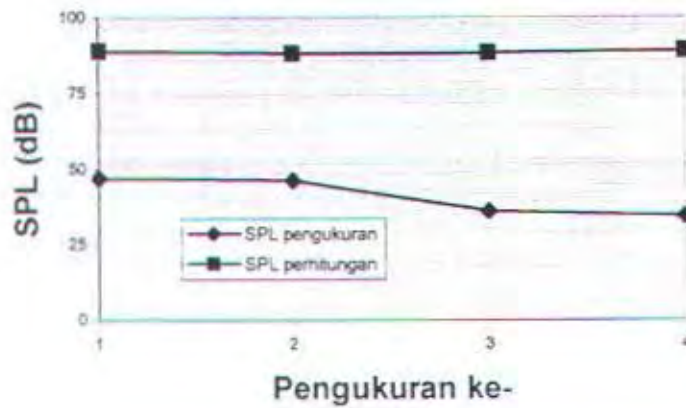




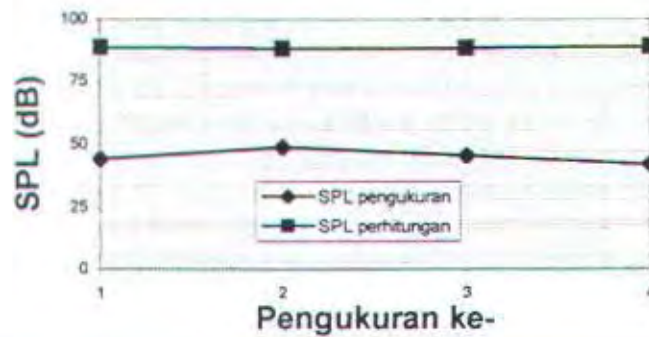
Gambar 19  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 LEFT 1 LOW)



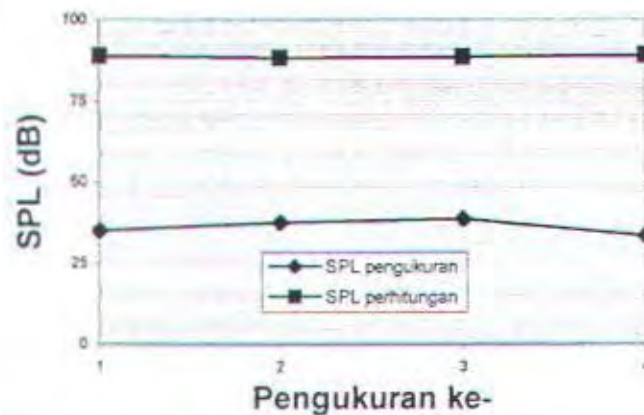
Gambar 20  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 LEFT 1 HIGHT)



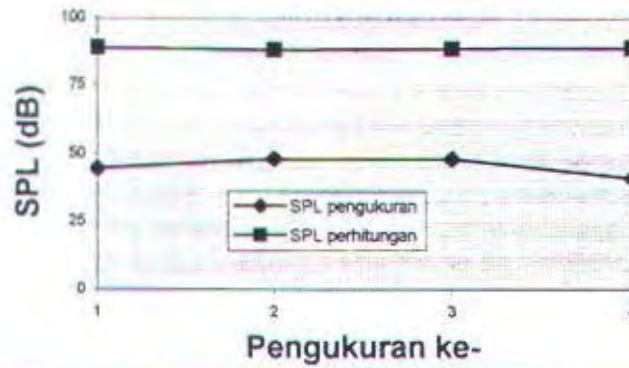
Gambar 21  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 LEFT 2 LOW)



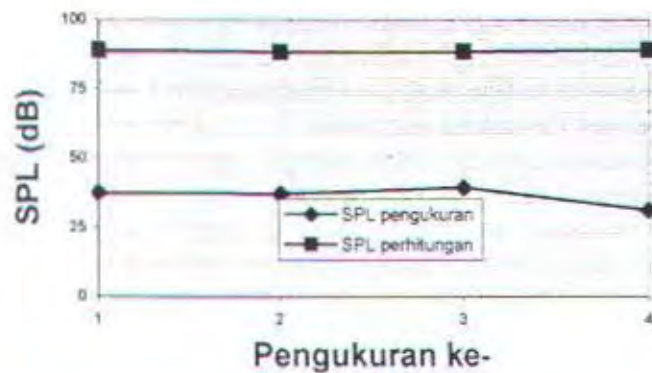
Gambar 22  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 LEFT 2 HIGHT)



Gambar 23  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.2 LEFT 4 LOW)**

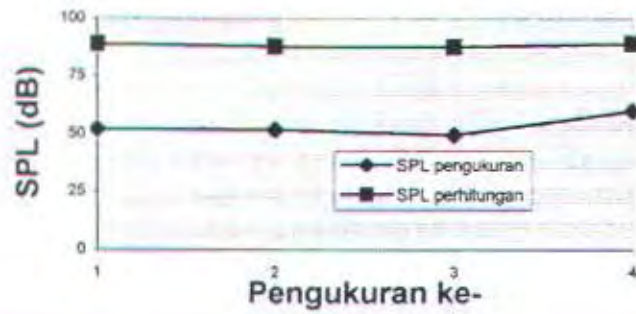


Gambar 24  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.2 LEFT 4 HIGHT)**

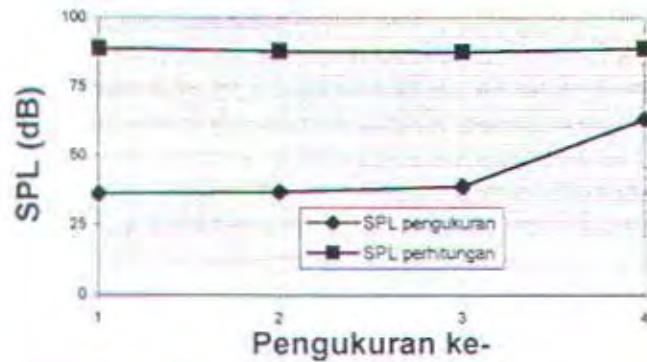




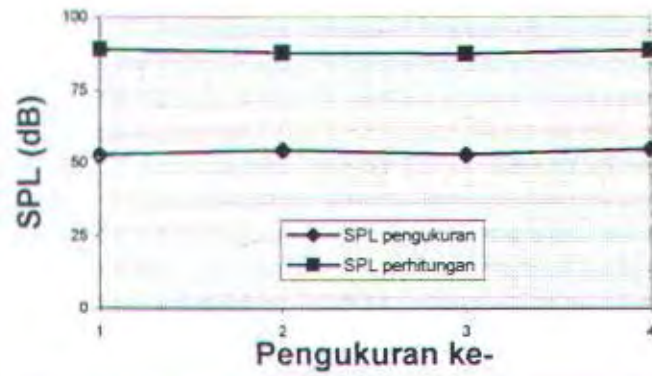
Gambar 25  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.3 RIGHT 1 LOW)**



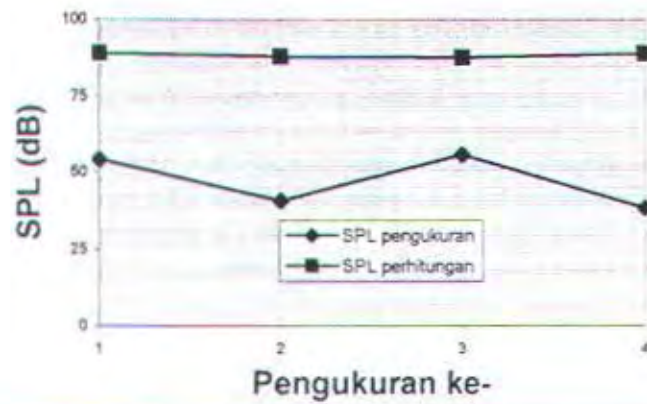
Gambar 26  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.3 RIGHT 1 HIGHT)**



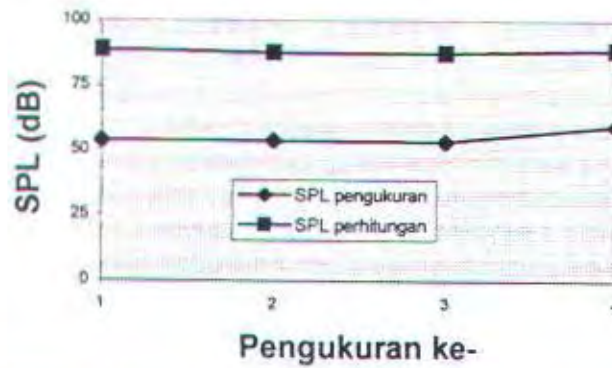
Gambar 27  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.3 RIGHT 2 LOW)**



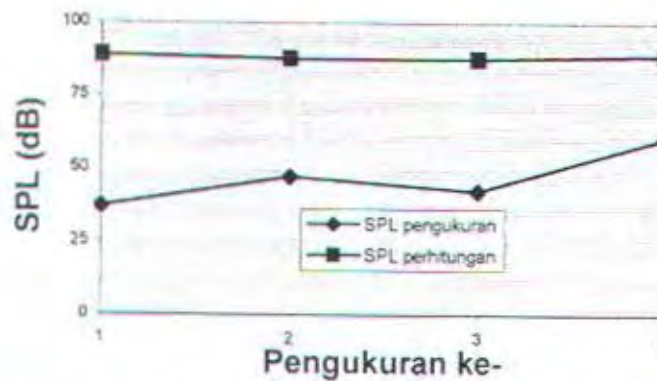
Gambar 28  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.3 RIGHT 2 HIGHT)**



Gambar 29  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.3 RIGHT 4 LOW)

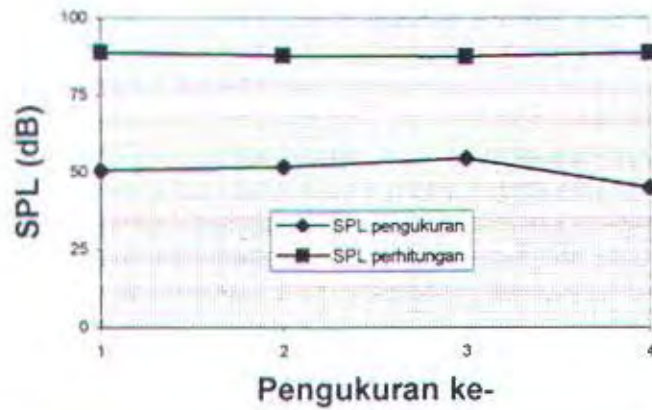


Gambar 30  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.3 RIGHT 4 HIGHT)

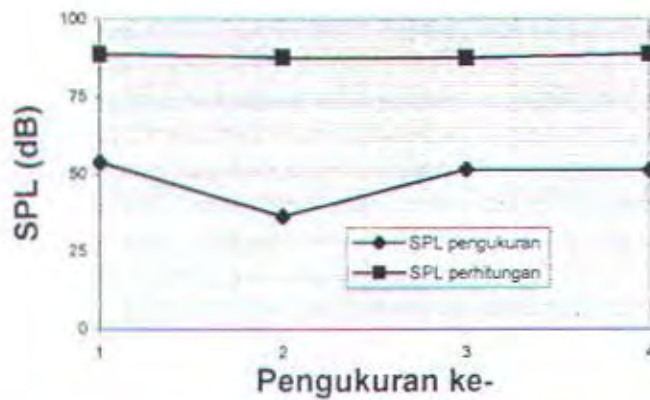




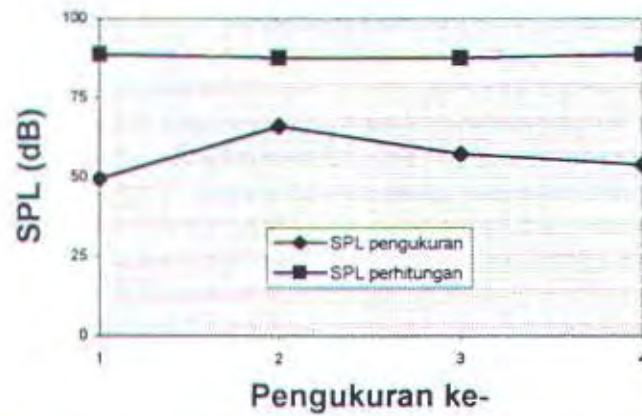
**Gambar 31**  
**PERBANDINGAN SPL**  
**PERHITUNGAN dan PENGUKURAN**  
**(HRSG 3.3 LEFT 1 LOW)**



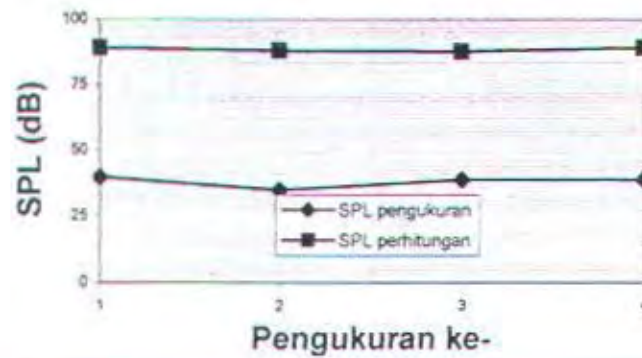
**Gambar 32**  
**PERBANDINGAN SPL**  
**PERHITUNGAN dan PENGUKURAN**  
**(HRSG 3.3 LEFT 1 HIGHT)**



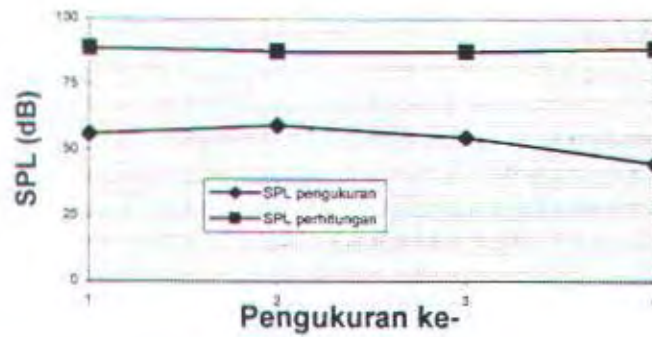
Gambar 33  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.3 LEFT 2 LOW)**



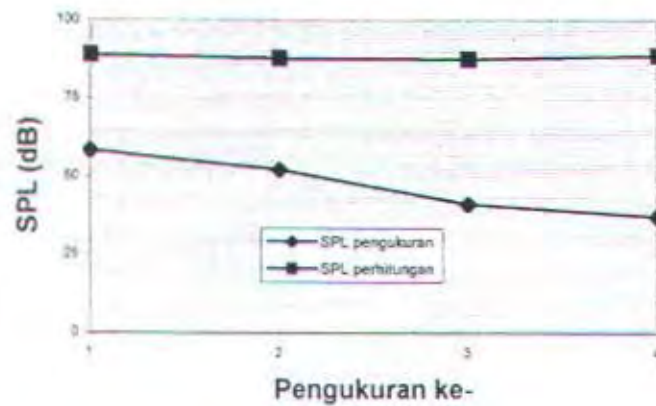
Gambar 34  
**PERBANDINGAN SPL  
 PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
 (HRSG 3.3 LEFT 2 HIGHT)**



Gambar 35  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.3 LEFT 4 LOW)

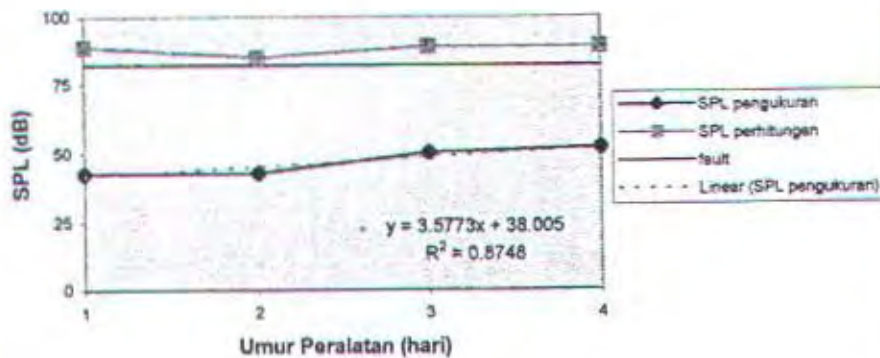


Gambar 36  
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.3 LEFT 4 HIGHT)

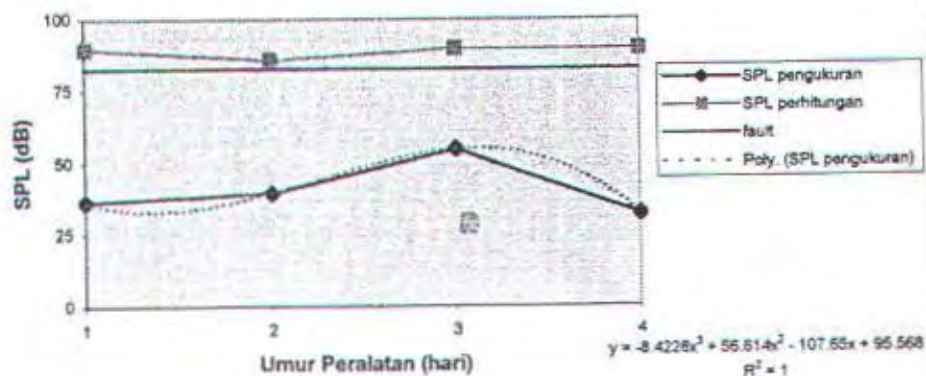




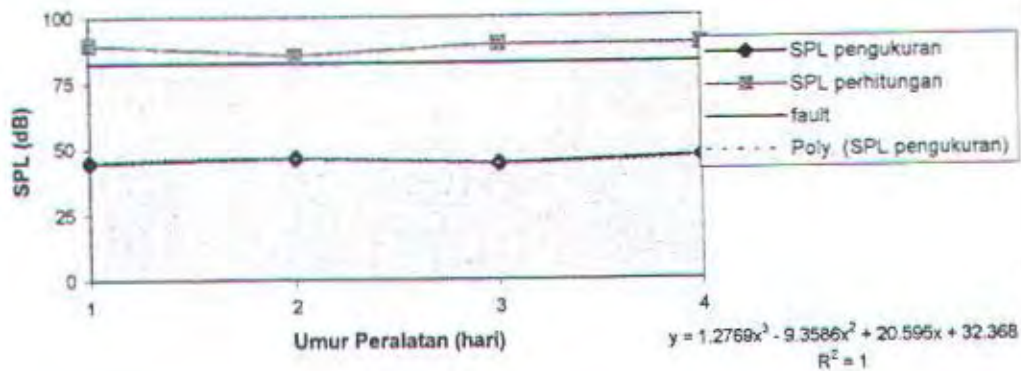
**PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 1 LOW)**



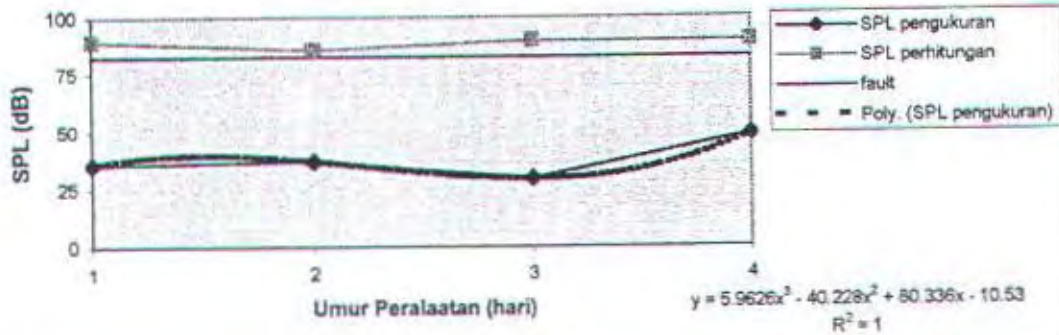
**PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT1 HIGHT)**



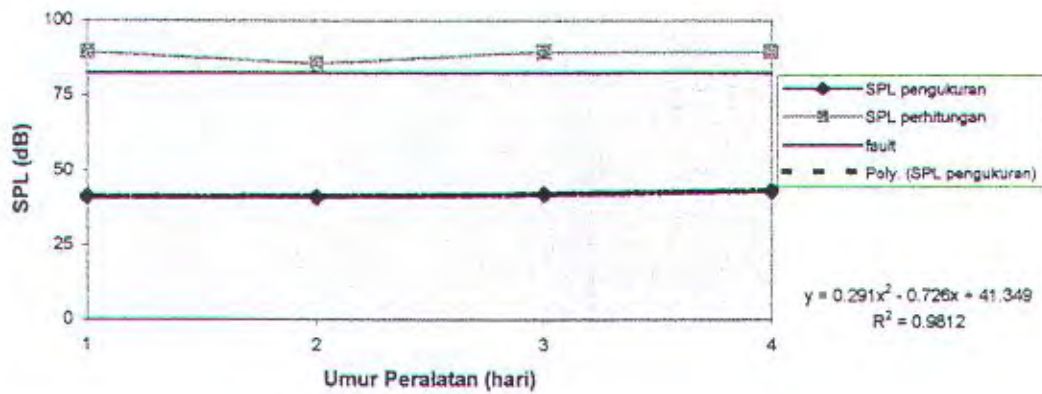
**PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 2 LOW)**



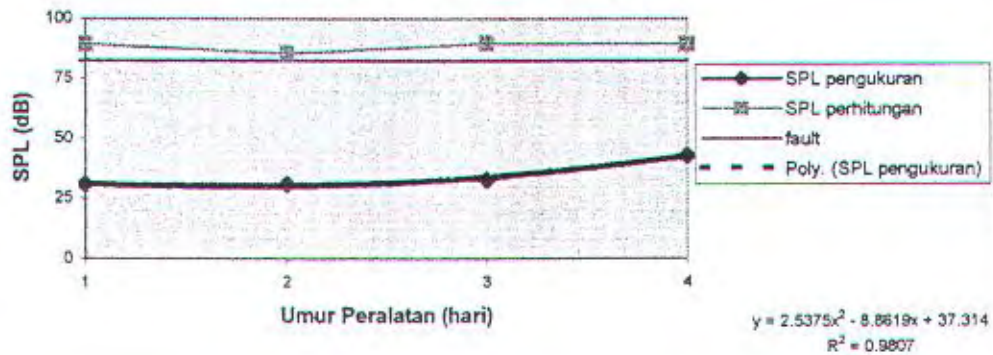
**PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 2 HIGHT)**



**PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 4 LOW)**

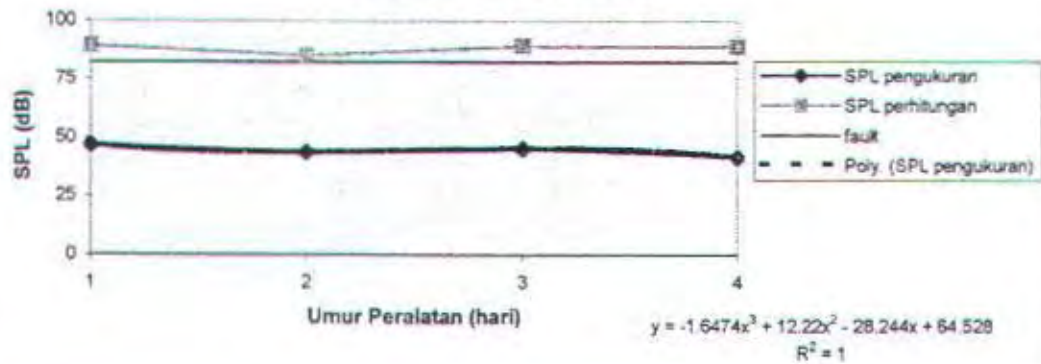


**PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 RIGHT 4 HIGHT)**

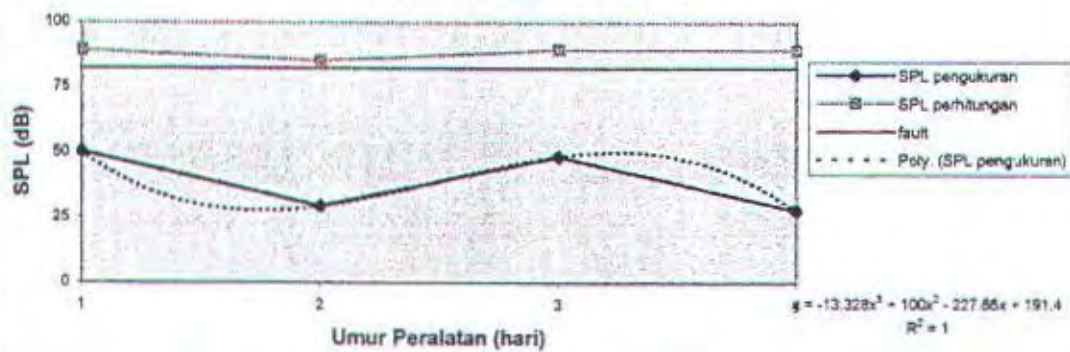




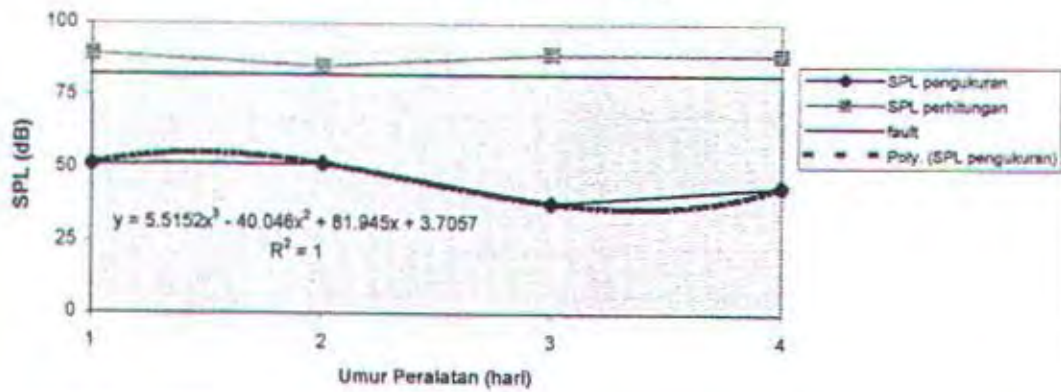
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 1.3 LEFT 1 LOW)



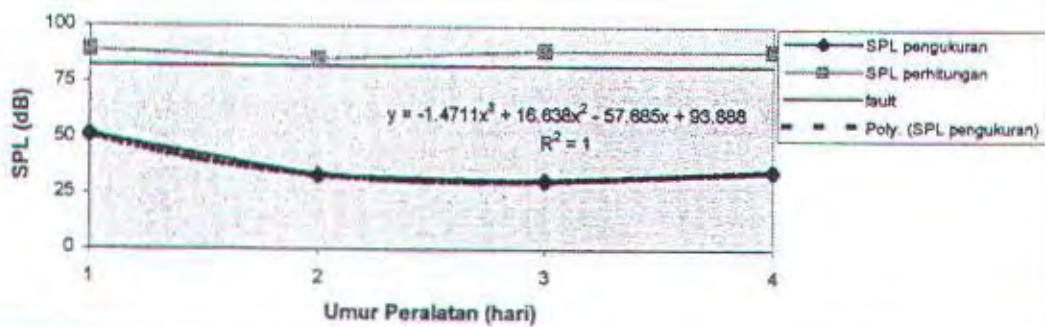
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 1.3 LEFT 1 HIGHT)



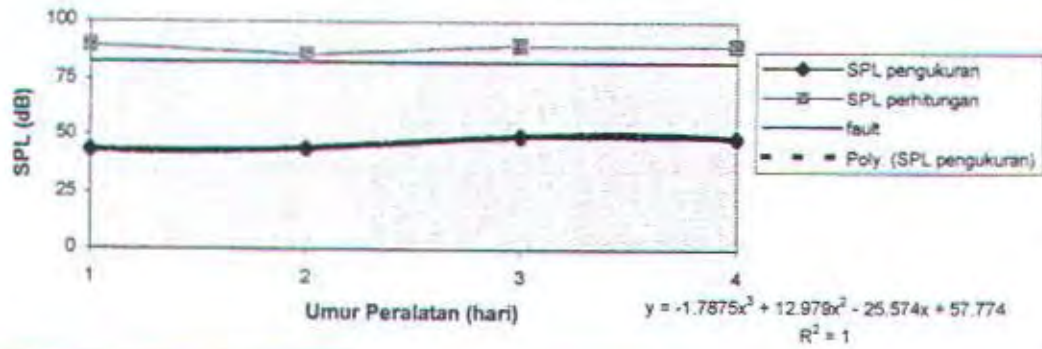
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 LEFT 2 LOW)



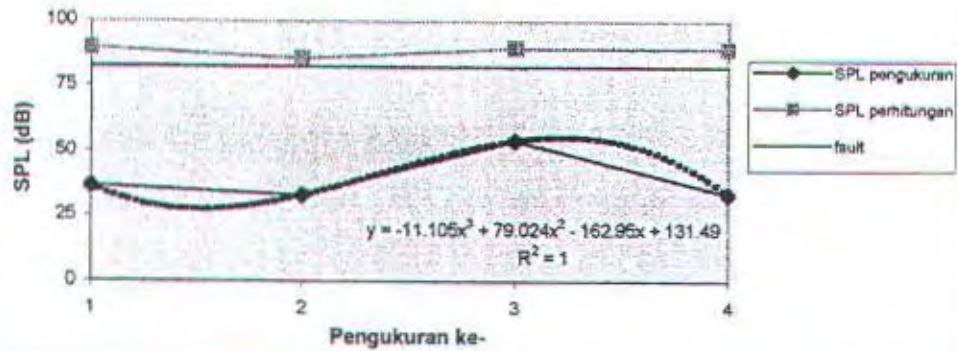
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 LEFT 2 HIGHT)



PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 LEFT 4 LOW)

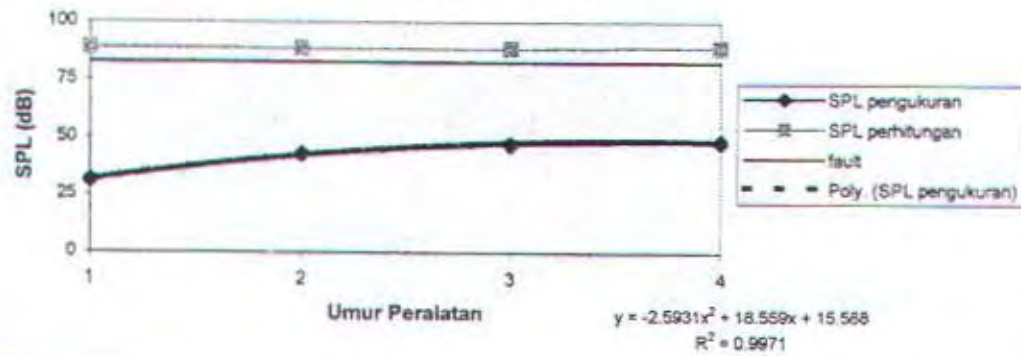


PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 1.3 LEFT 4 HIGHT)

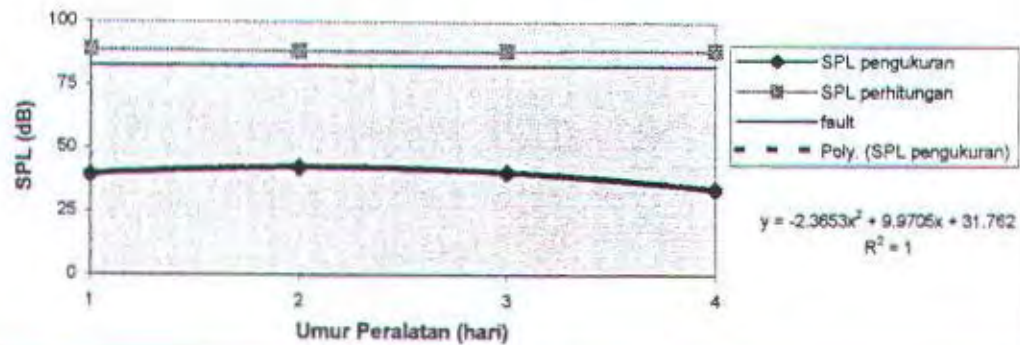




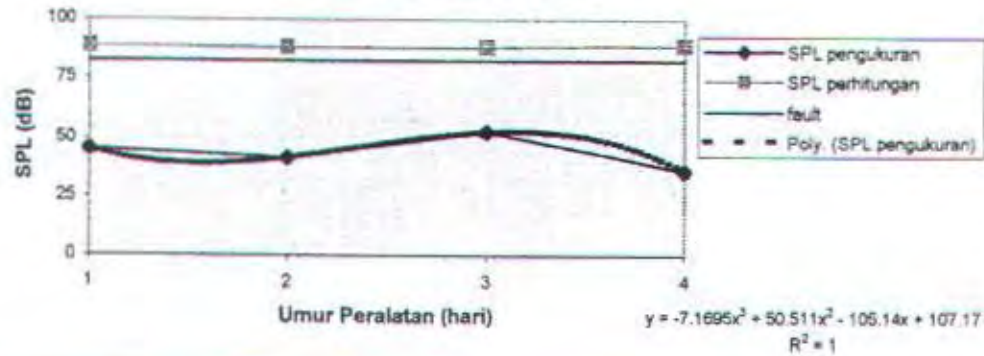
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 RIGHT 1 LOW)



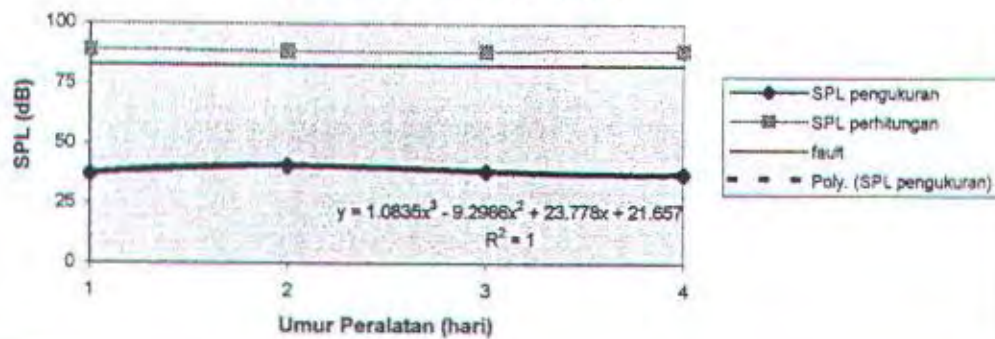
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 RIGHT 1 HIGHT)



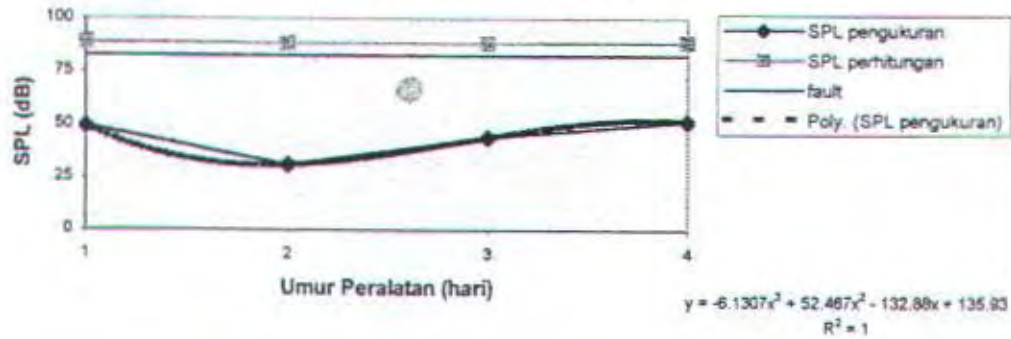
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.2 RIGHT 2 LOW)



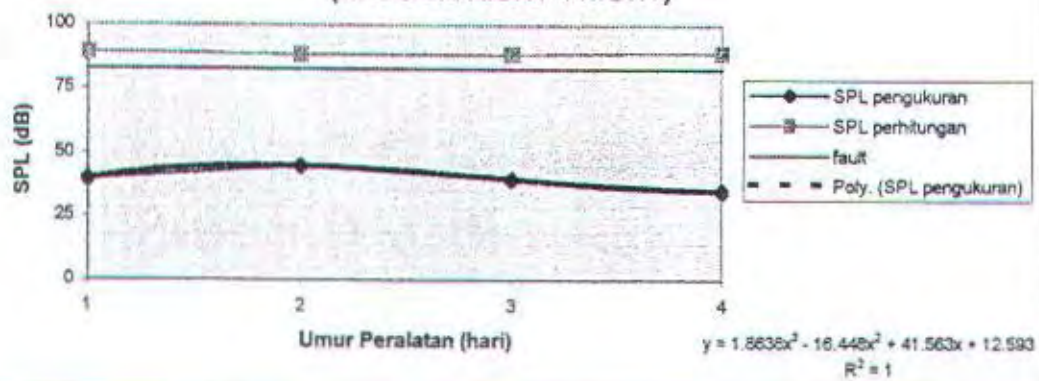
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.2 RIGHT 2 HIGHT)



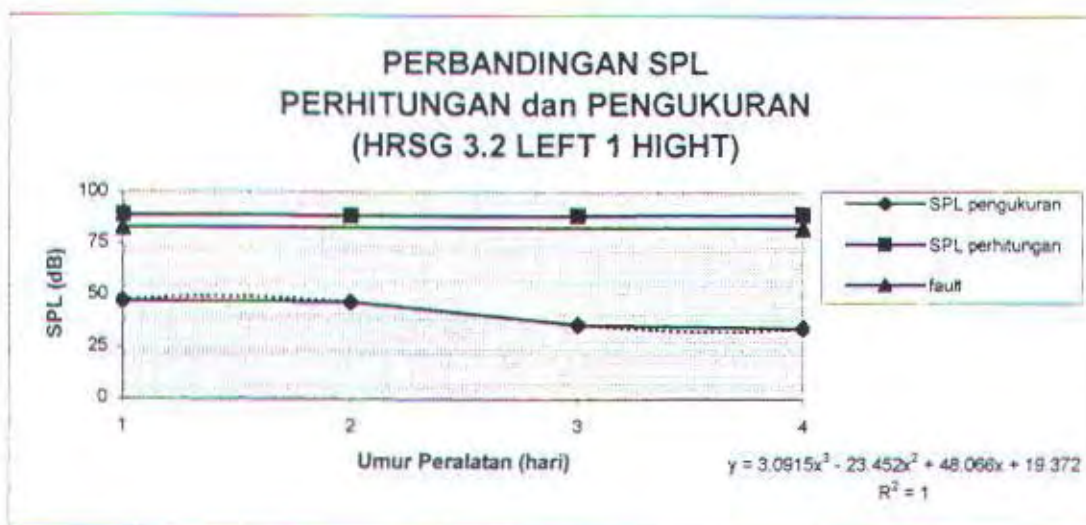
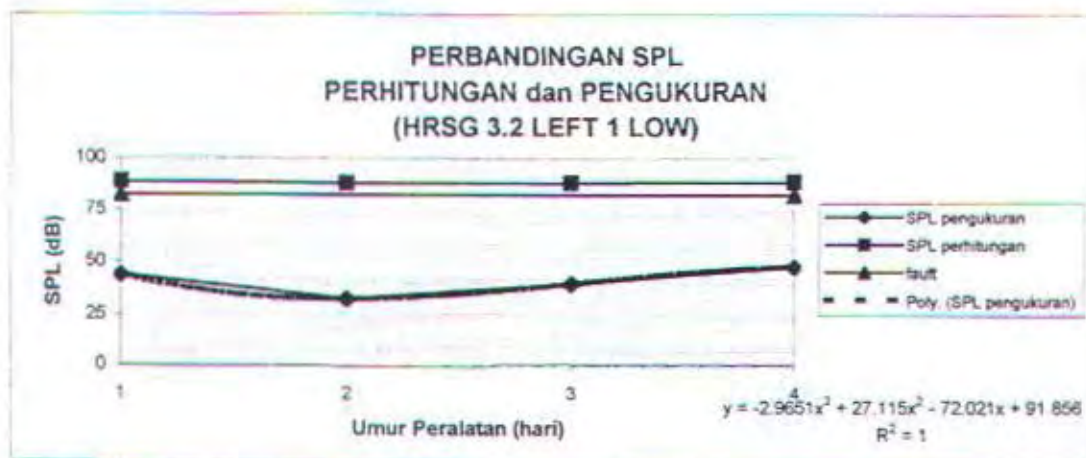
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 RIGHT 4 LOW)



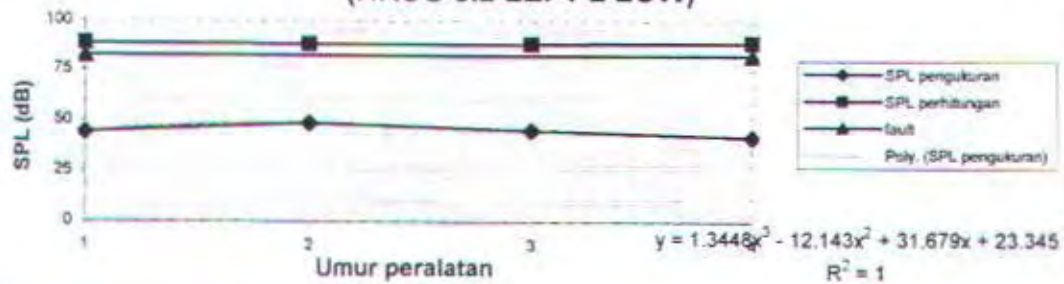
PERBANDINGAN SPL  
PERHITUNGAN dan PENGUKURAN  
(HRSG 3.2 RIGHT 4 HIGHT)



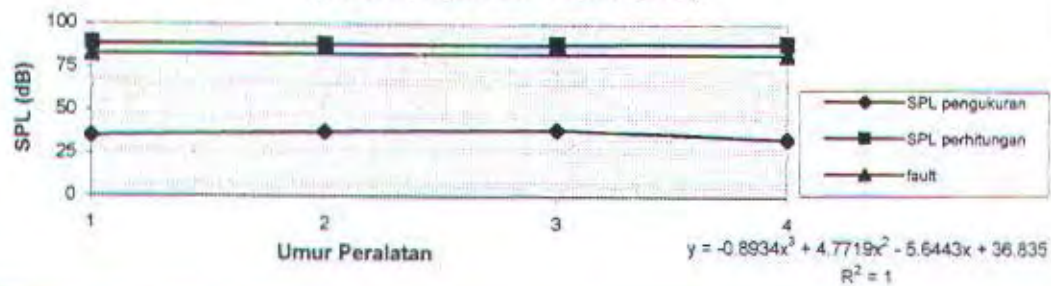


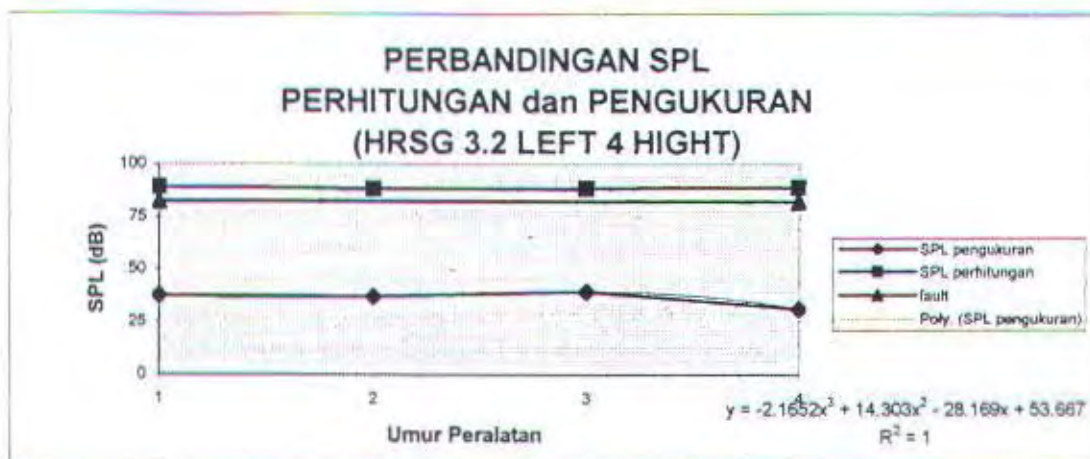
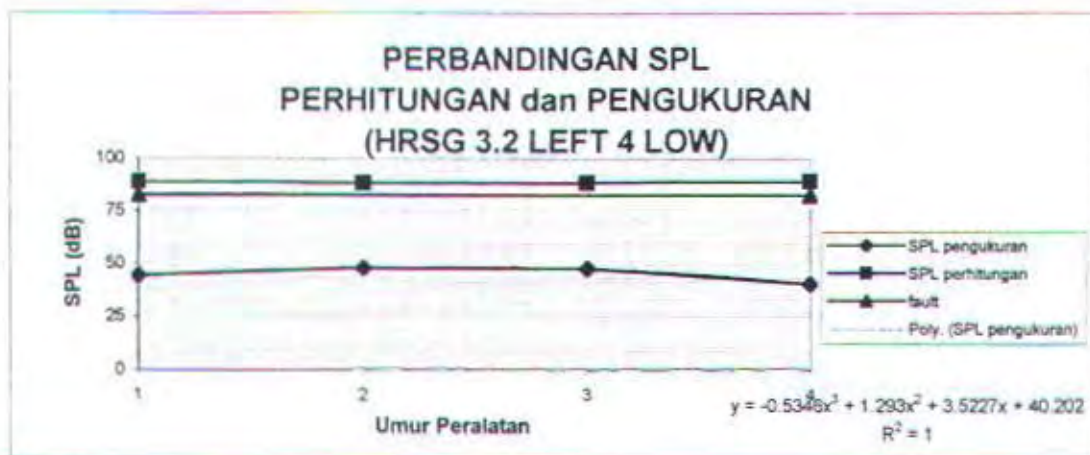


### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.2 LEFT 2 LOW)



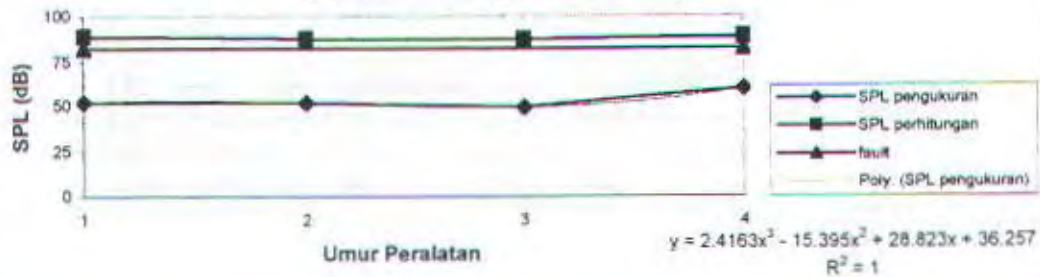
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.2 LEFT 2 HIGHT)



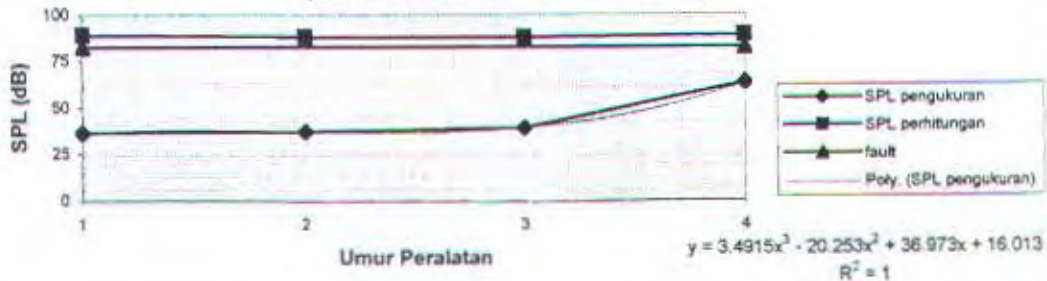




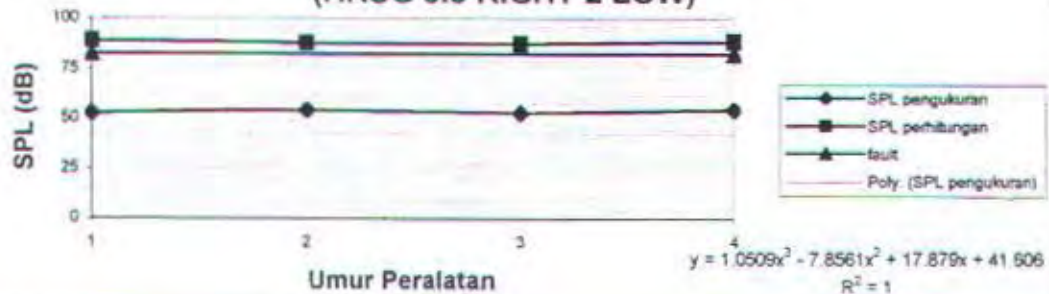
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 RIGHT 1 LOW)



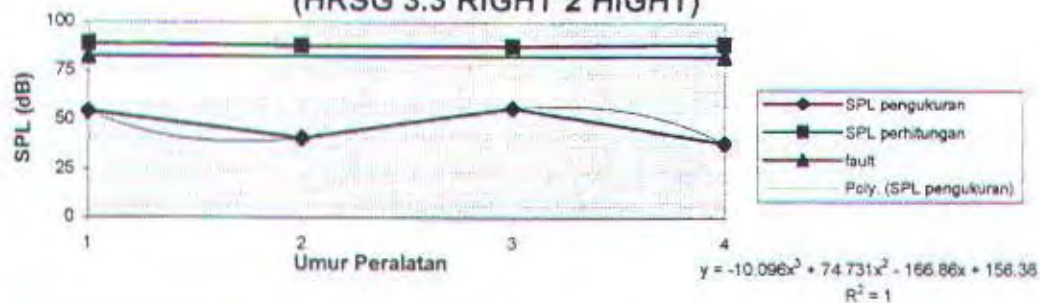
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 RIGHT 1 HIGHT)



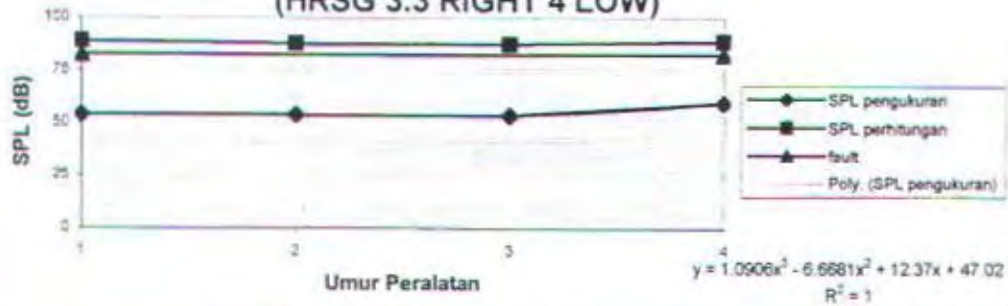
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 RIGHT 2 LOW)



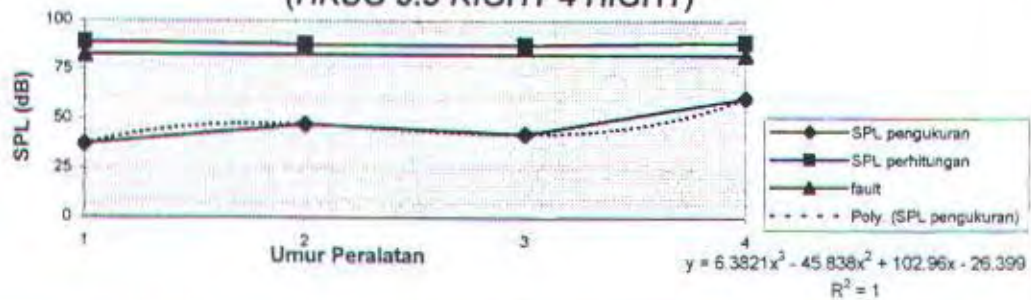
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 RIGHT 2 HIGHT)



### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 RIGHT 4 LOW)

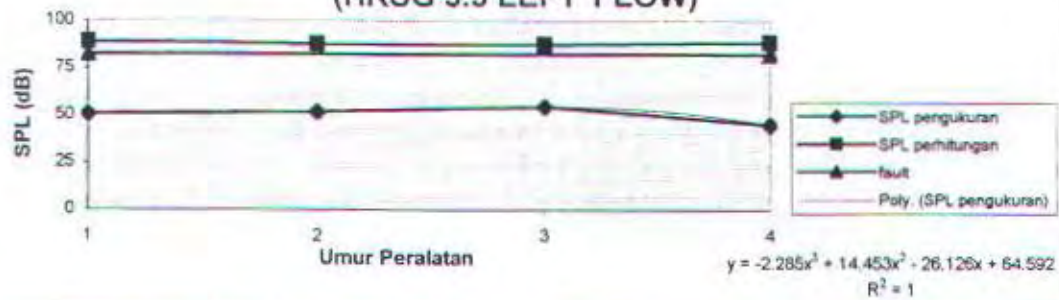


### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 RIGHT 4 HIGHT)

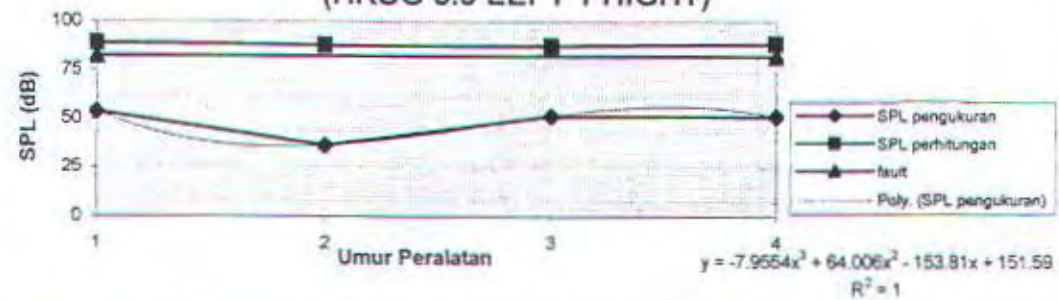




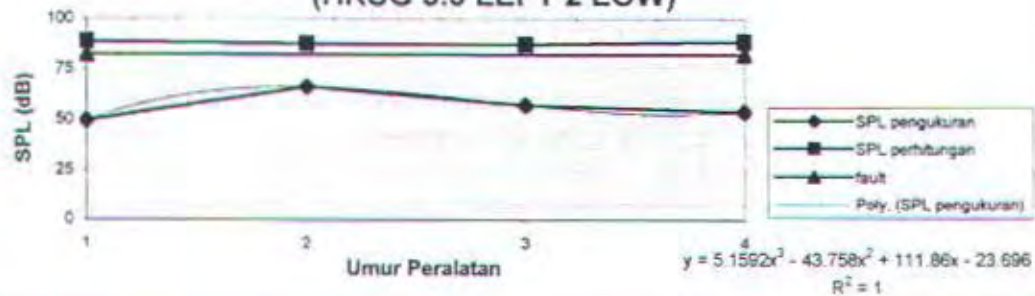
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 LEFT 1 LOW)



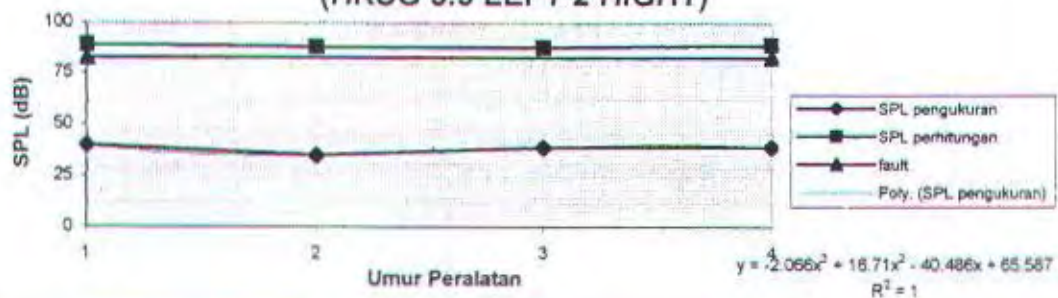
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 LEFT 1 HIGHT)



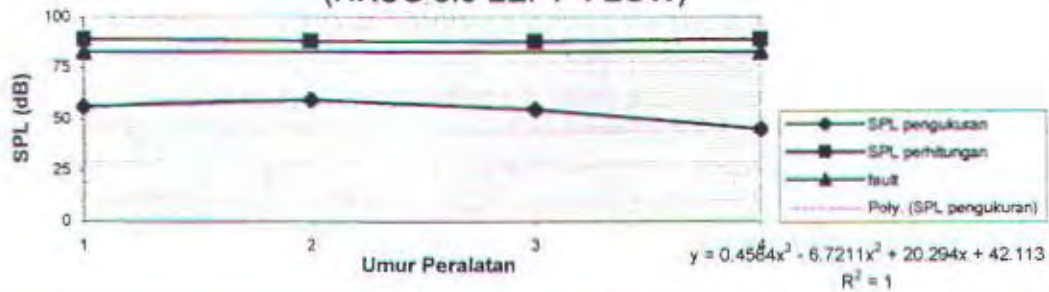
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 LEFT 2 LOW)



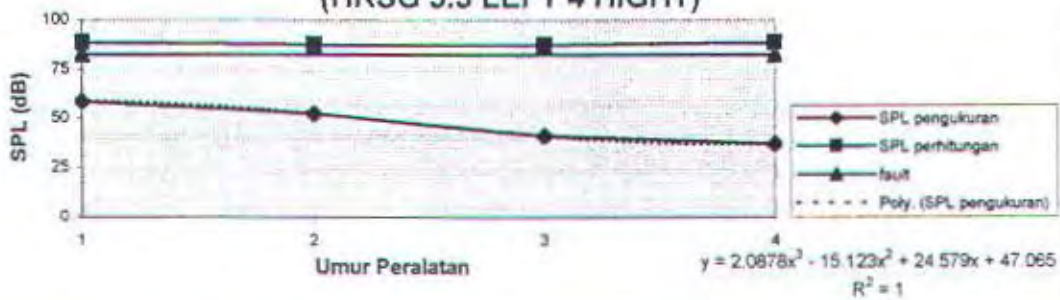
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 LEFT 2 HIGHT)



### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 LEFT 4 LOW)

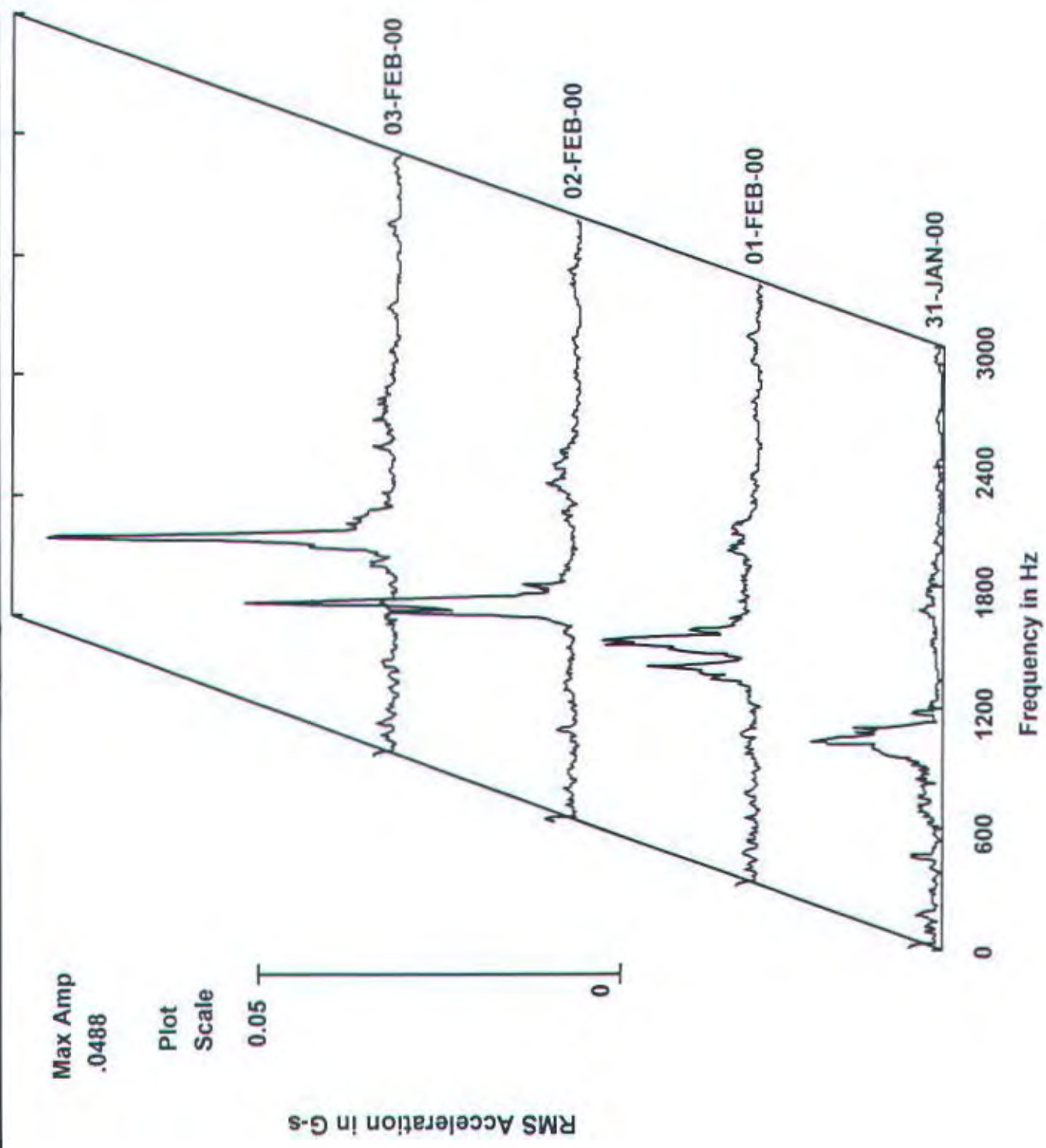


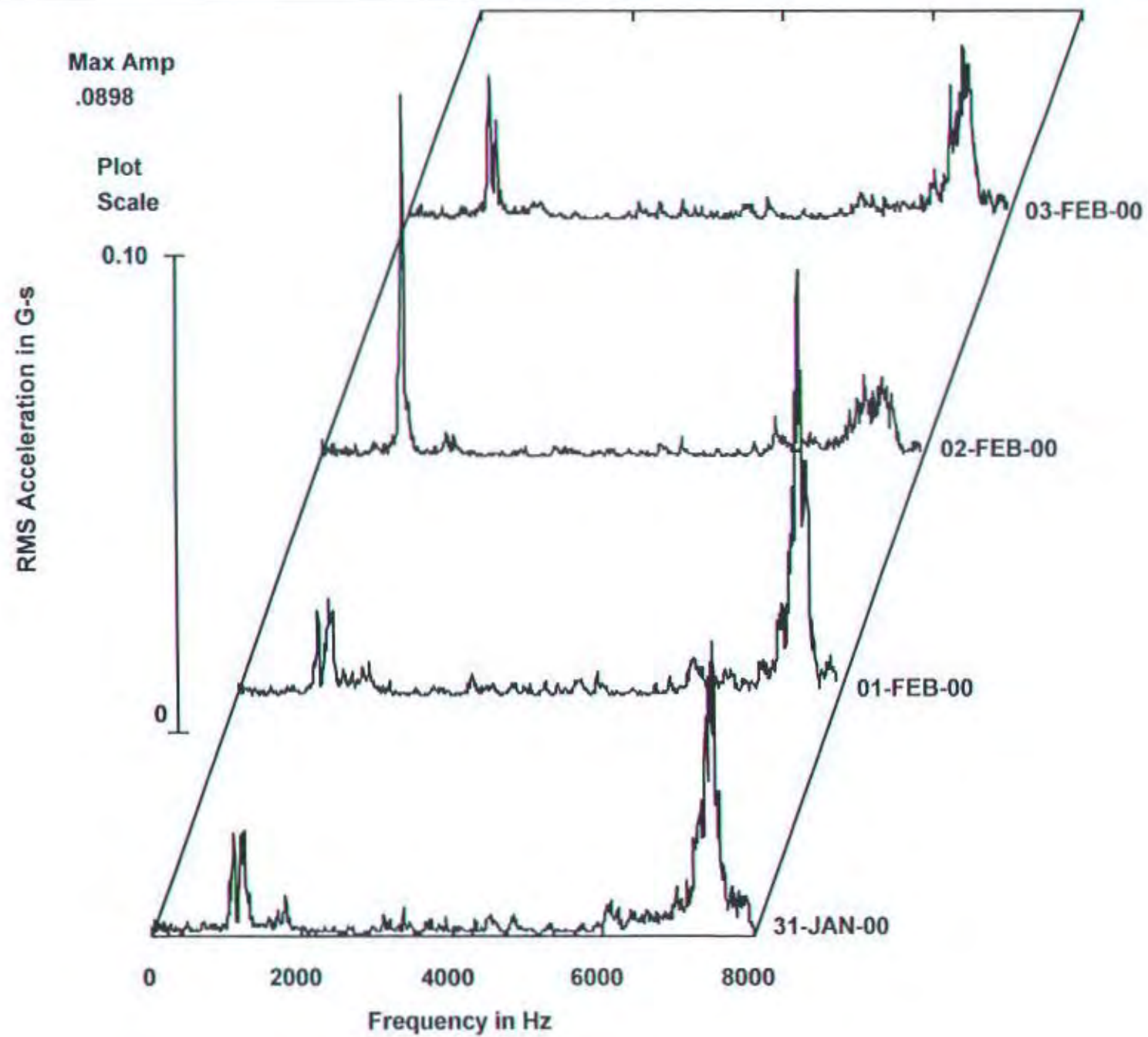
### PERBANDINGAN SPL PERHITUNGAN dan PENGUKURAN (HRSG 3.3 LEFT 4 HIGHT)





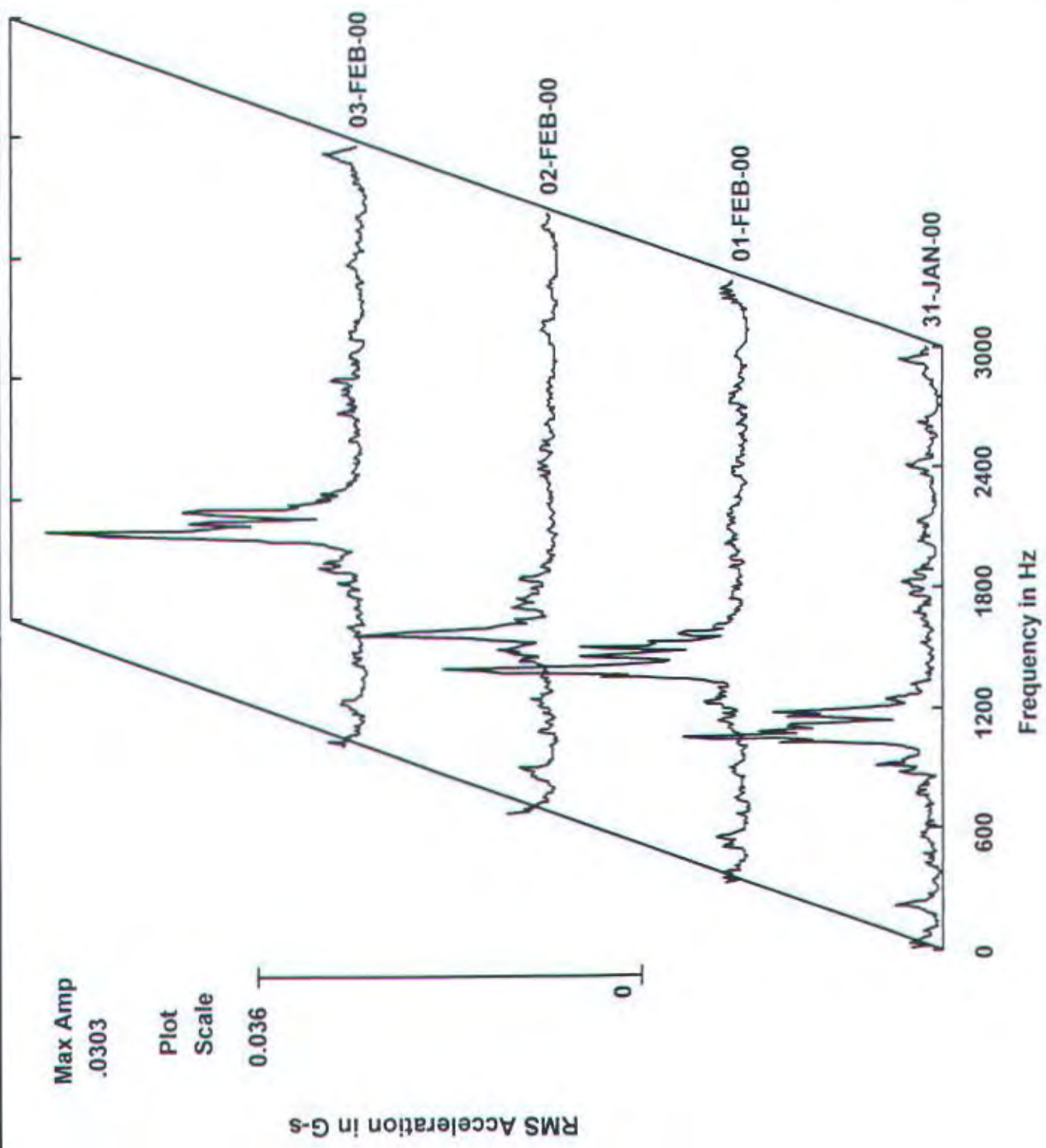
## LAMPIRAN B

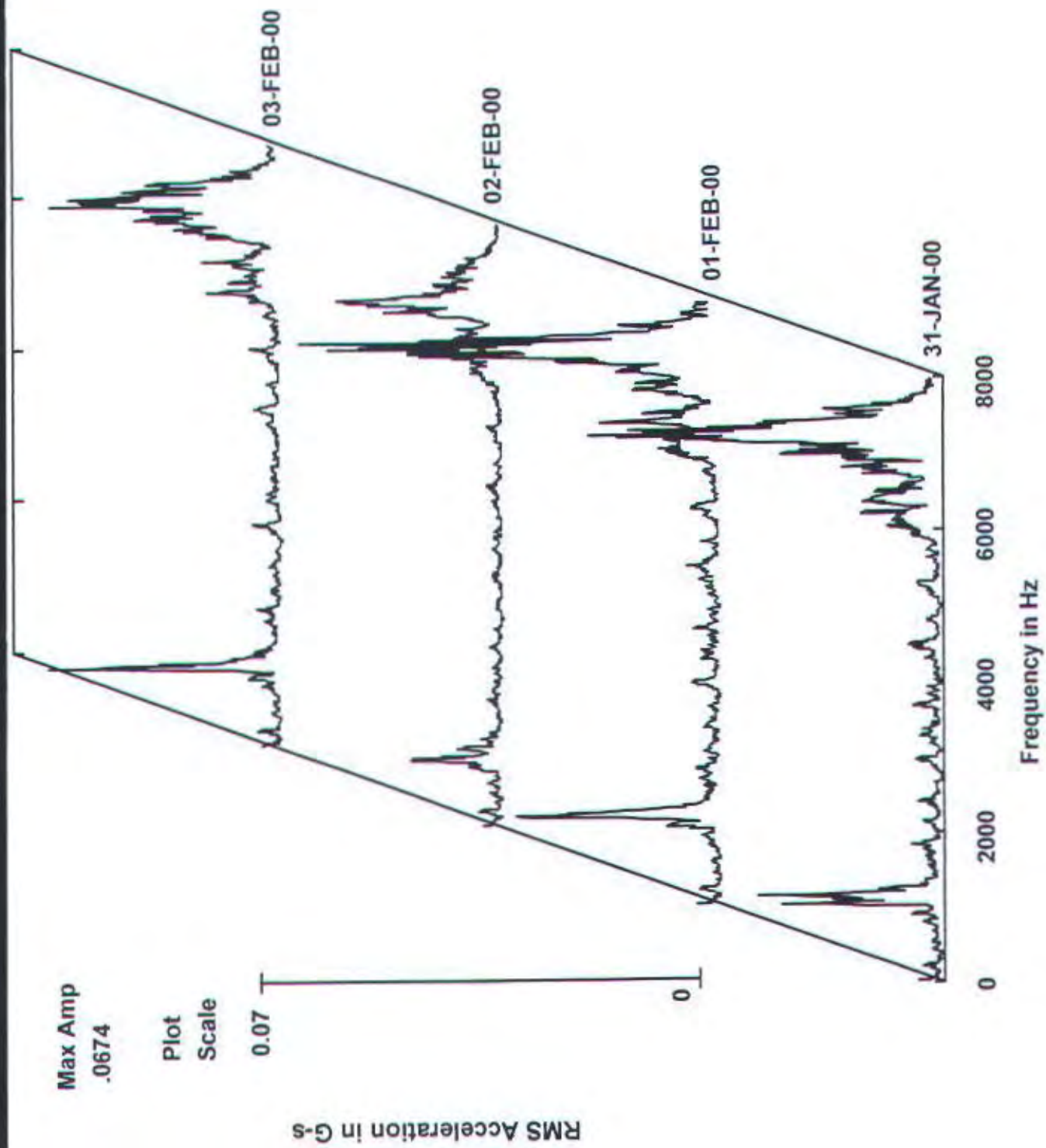


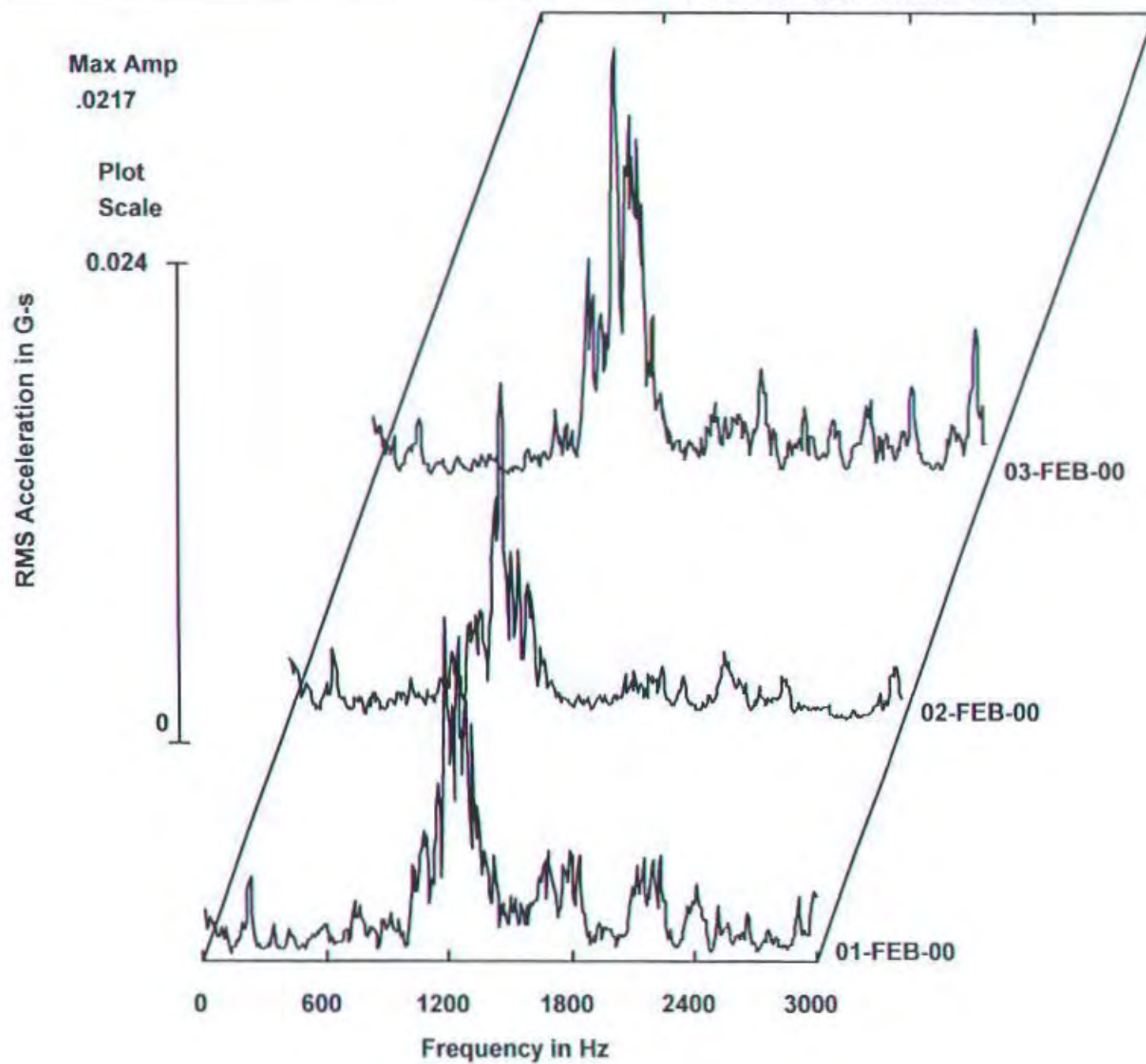




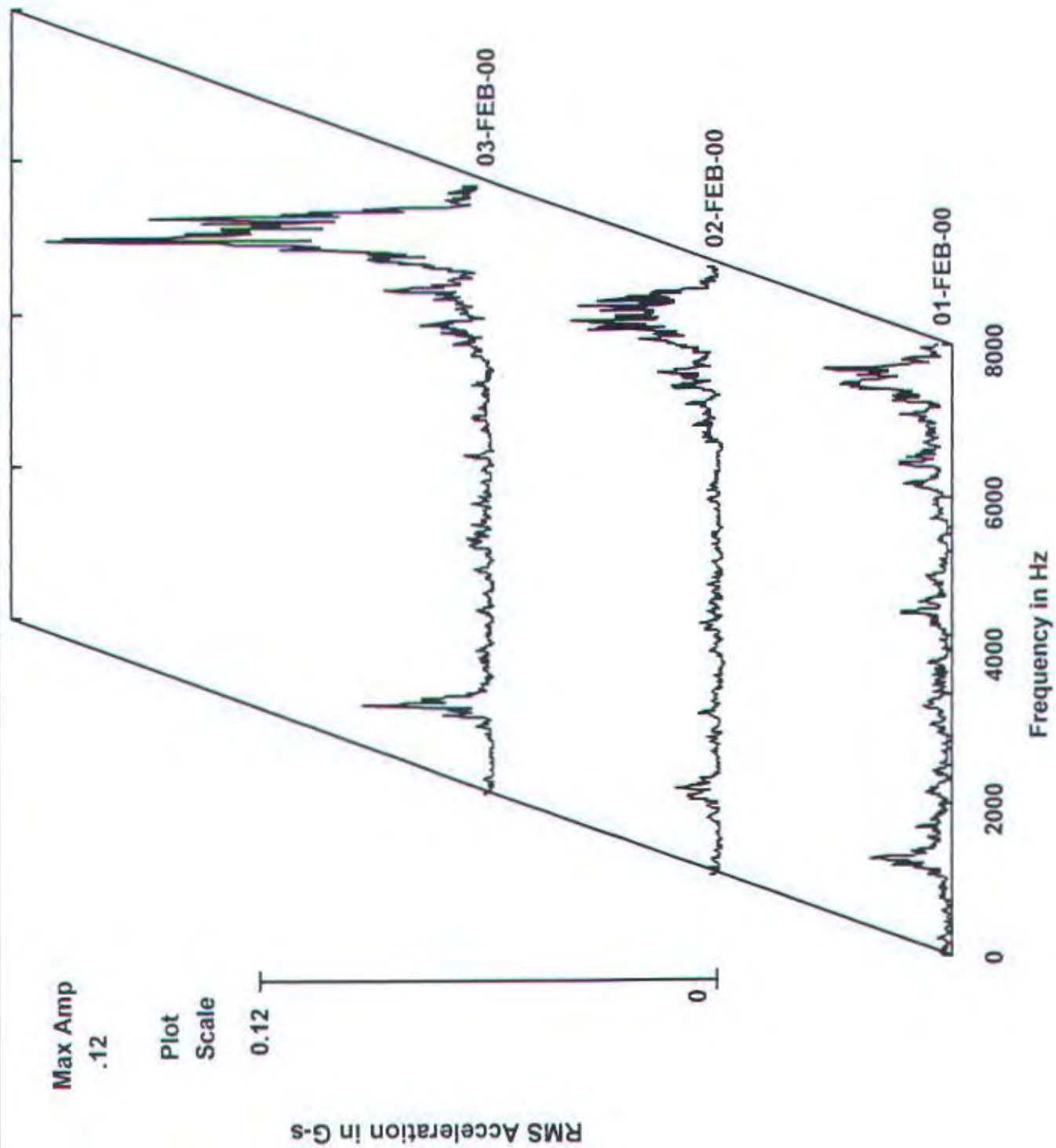
ITS

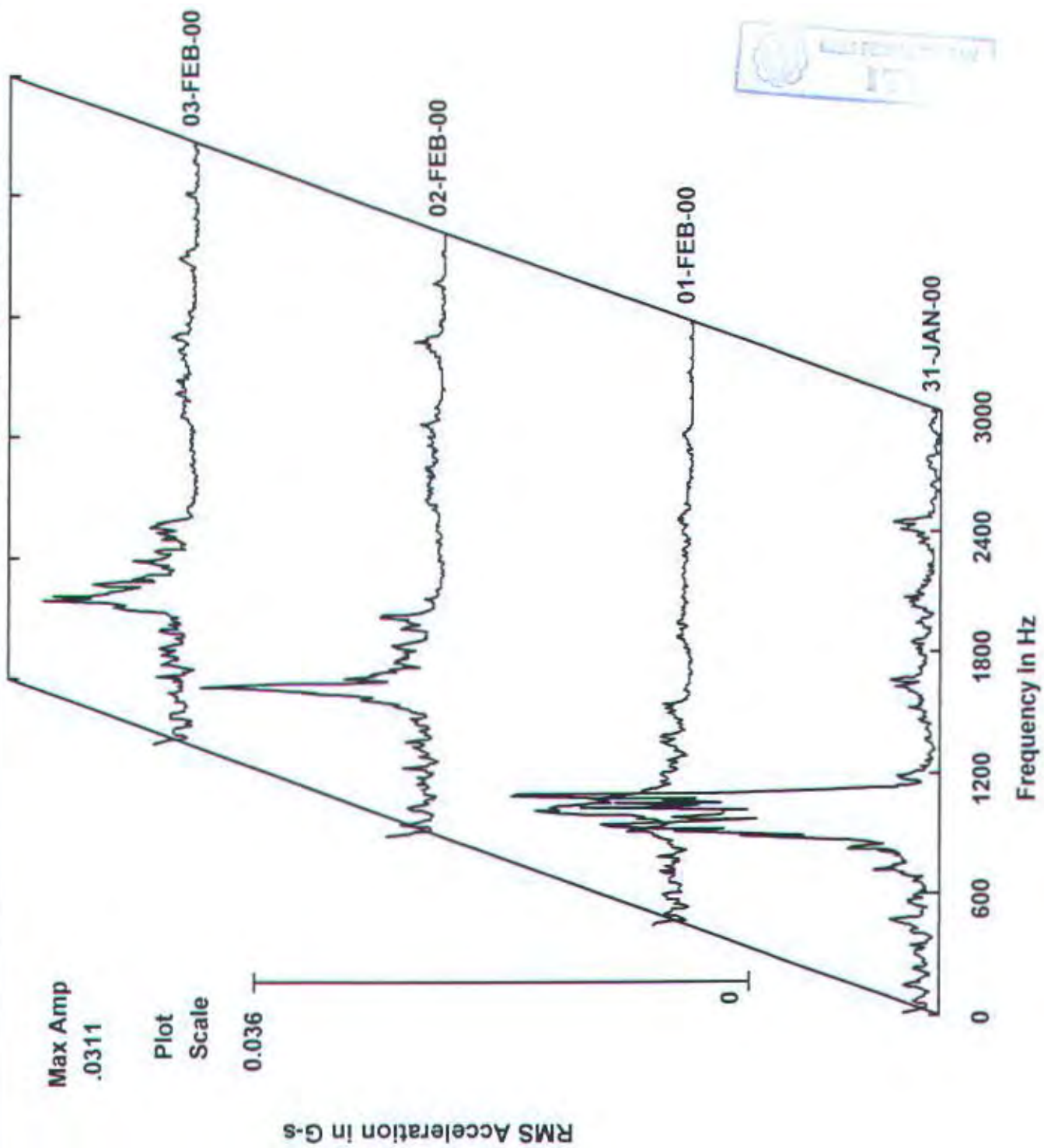


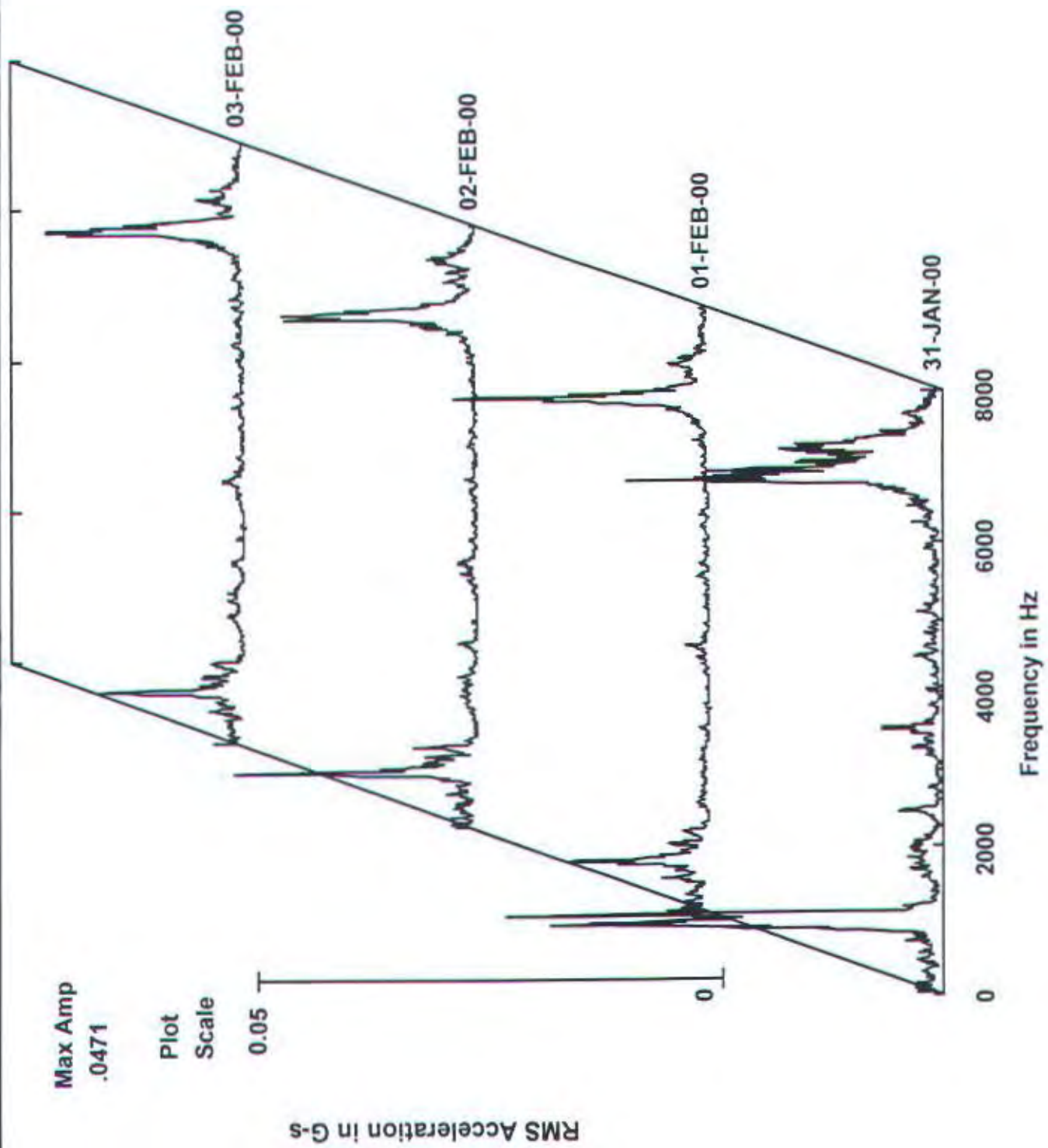




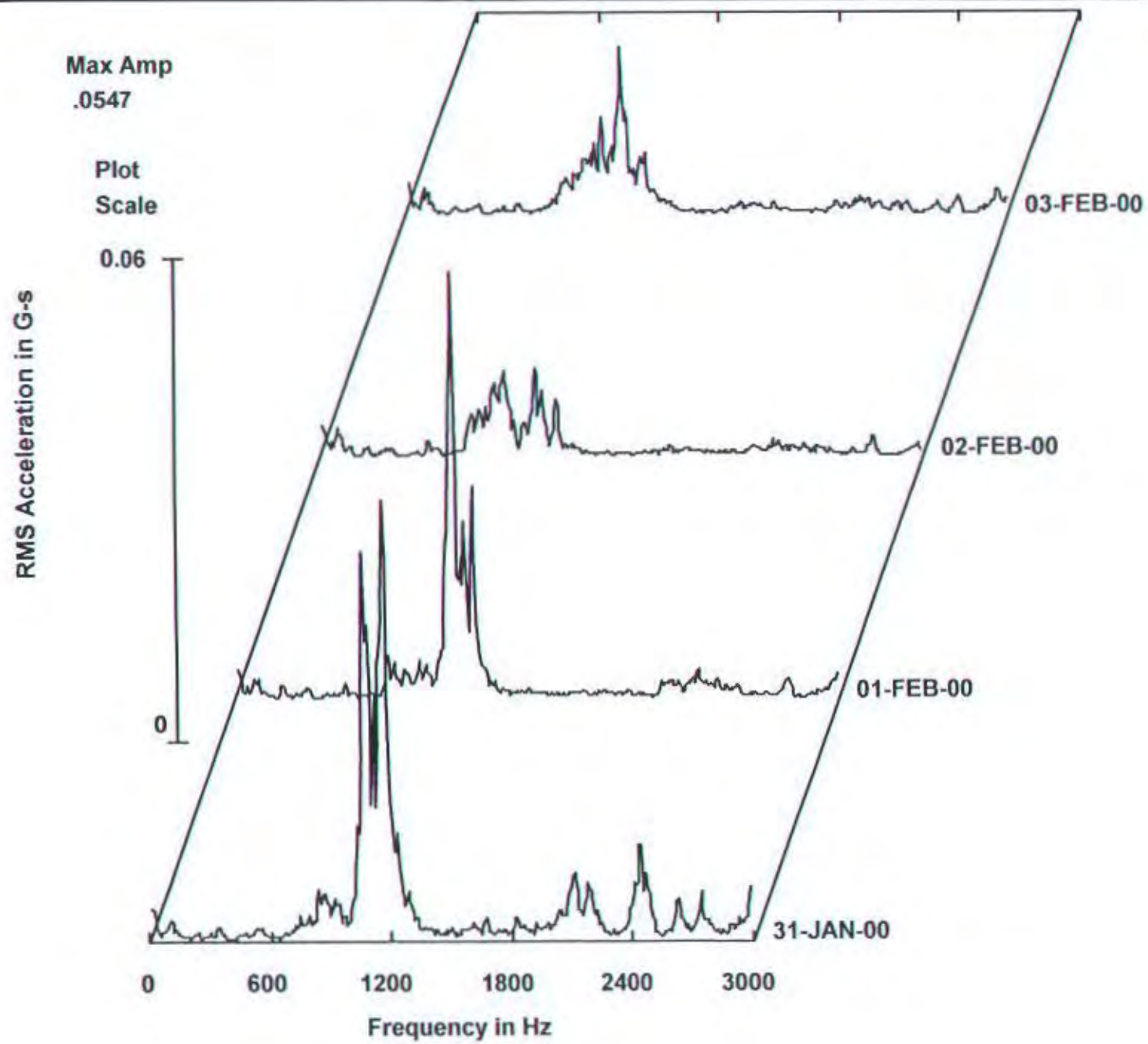


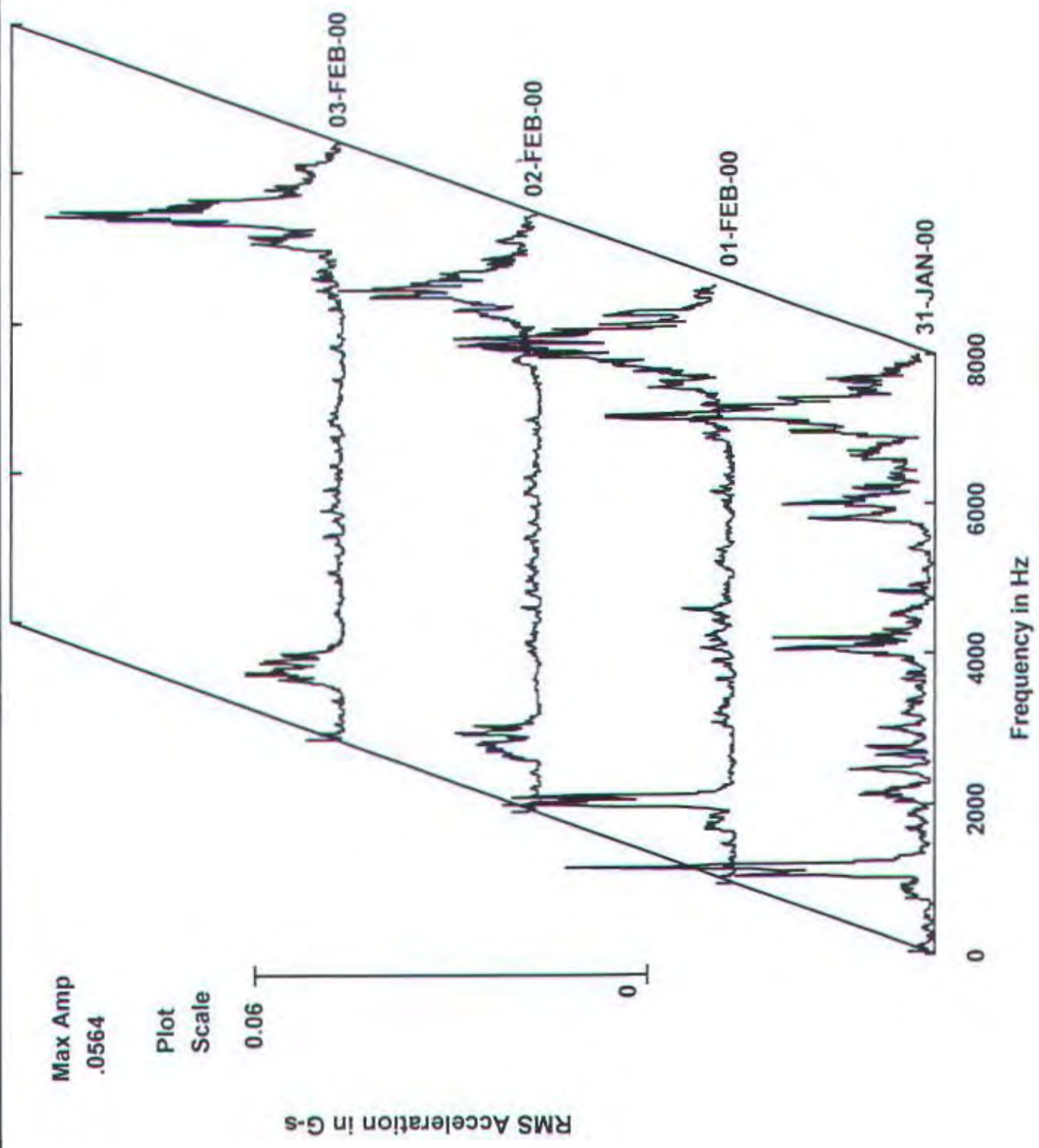


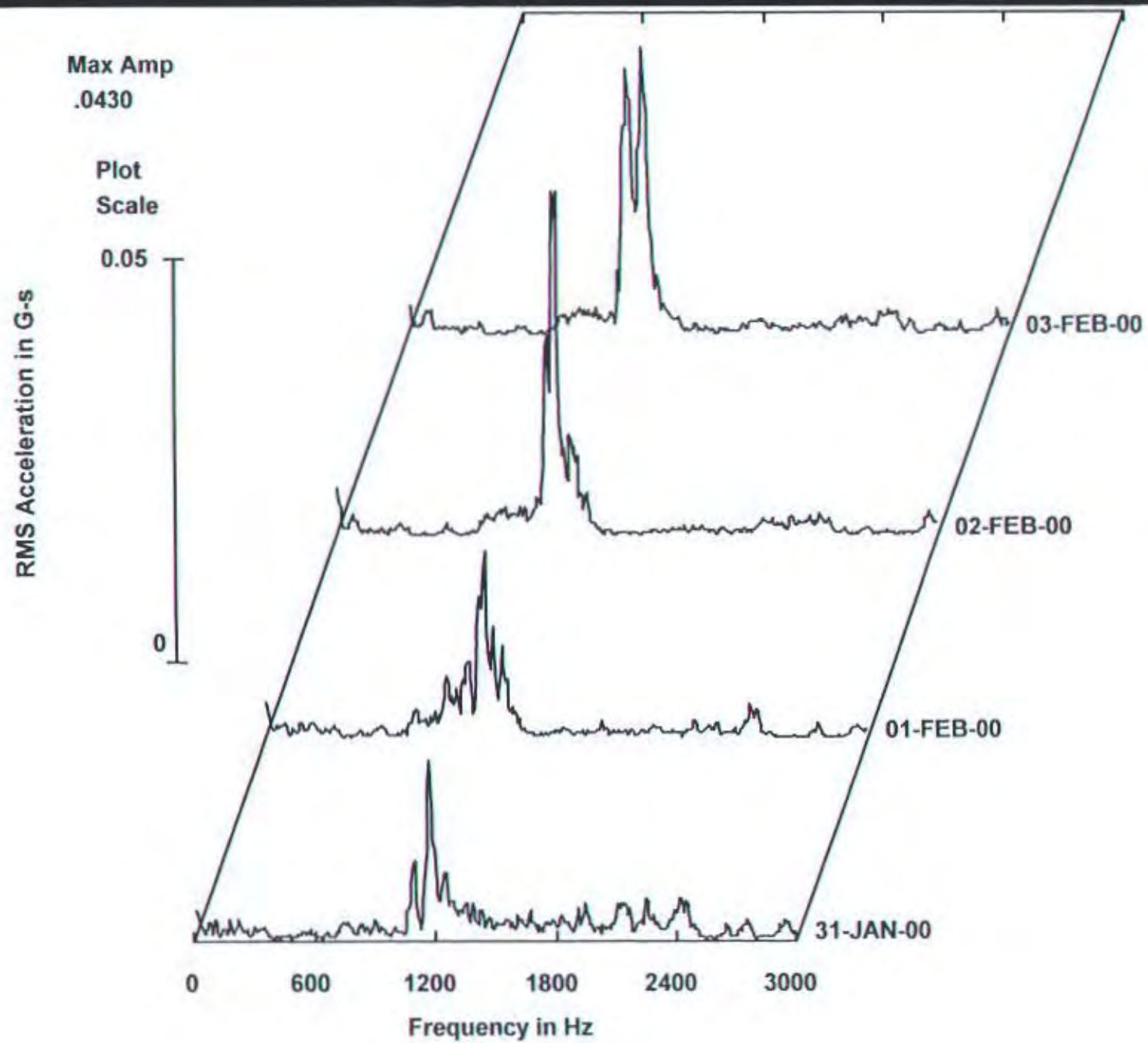




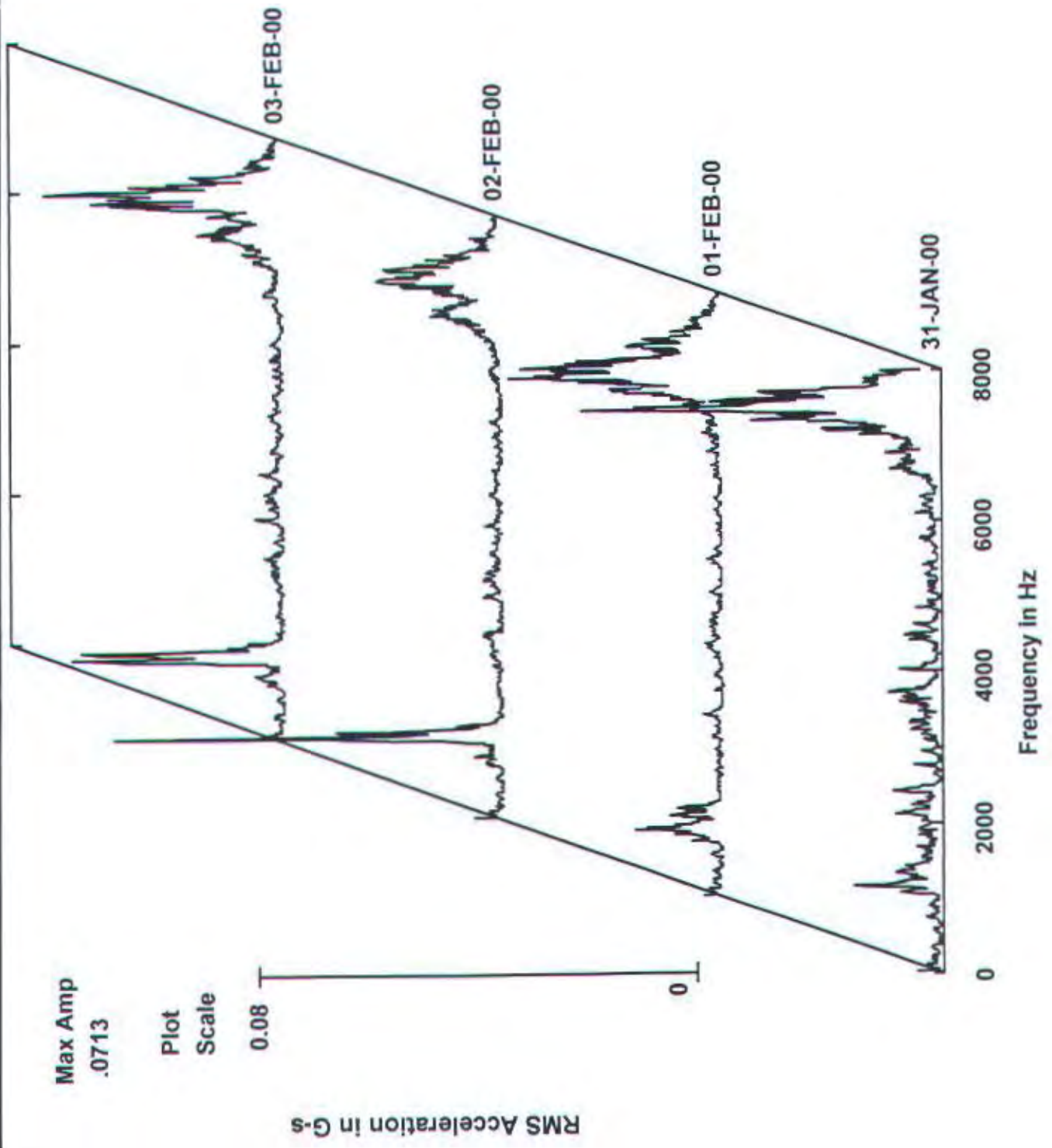












Max Amp  
.0344

Plot  
Scale

0.04

RMS Acceleration in G-s

0

03-FEB-00

02-FEB-00

01-FEB-00

31-JAN-00

3000

2400

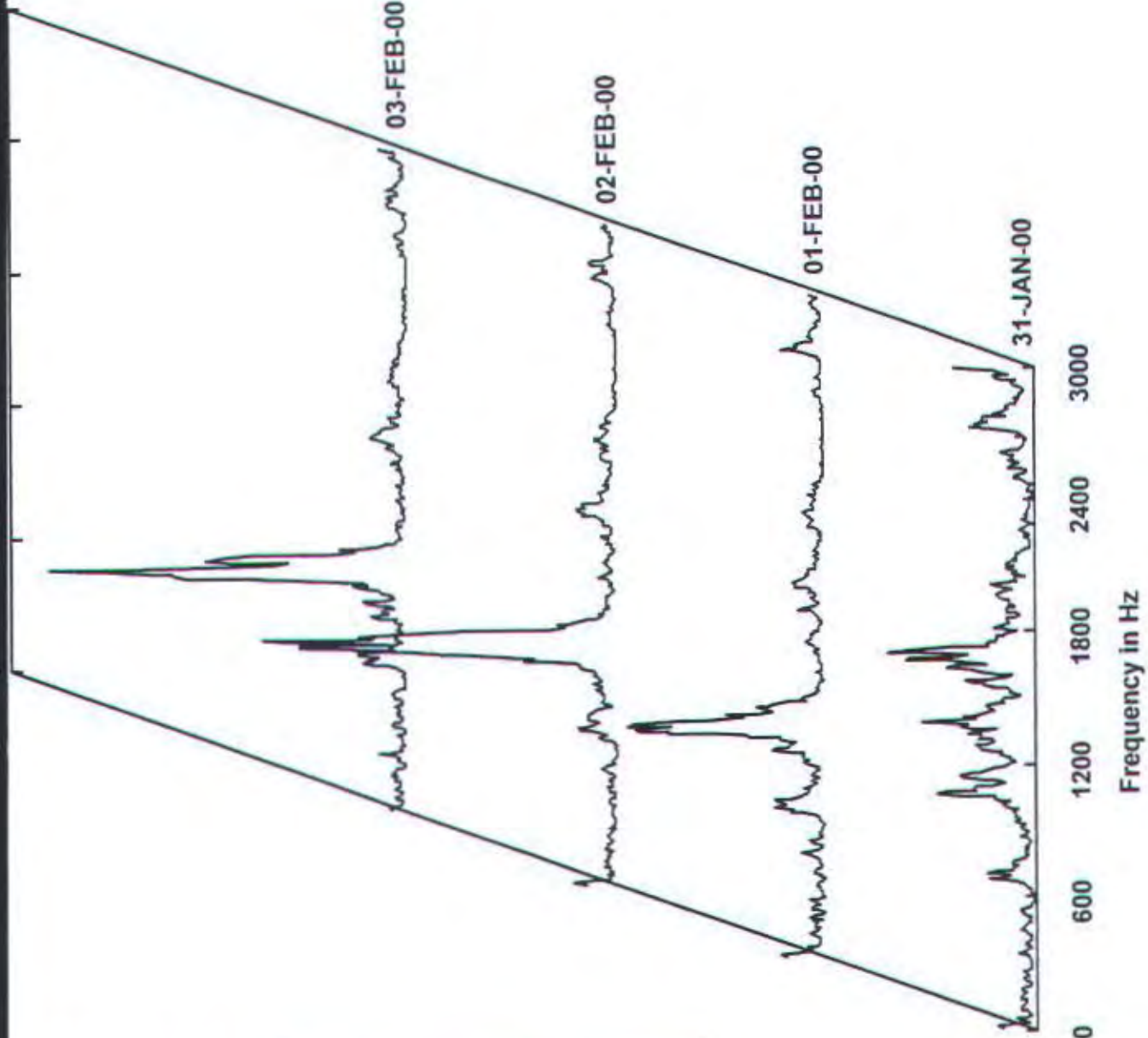
1800

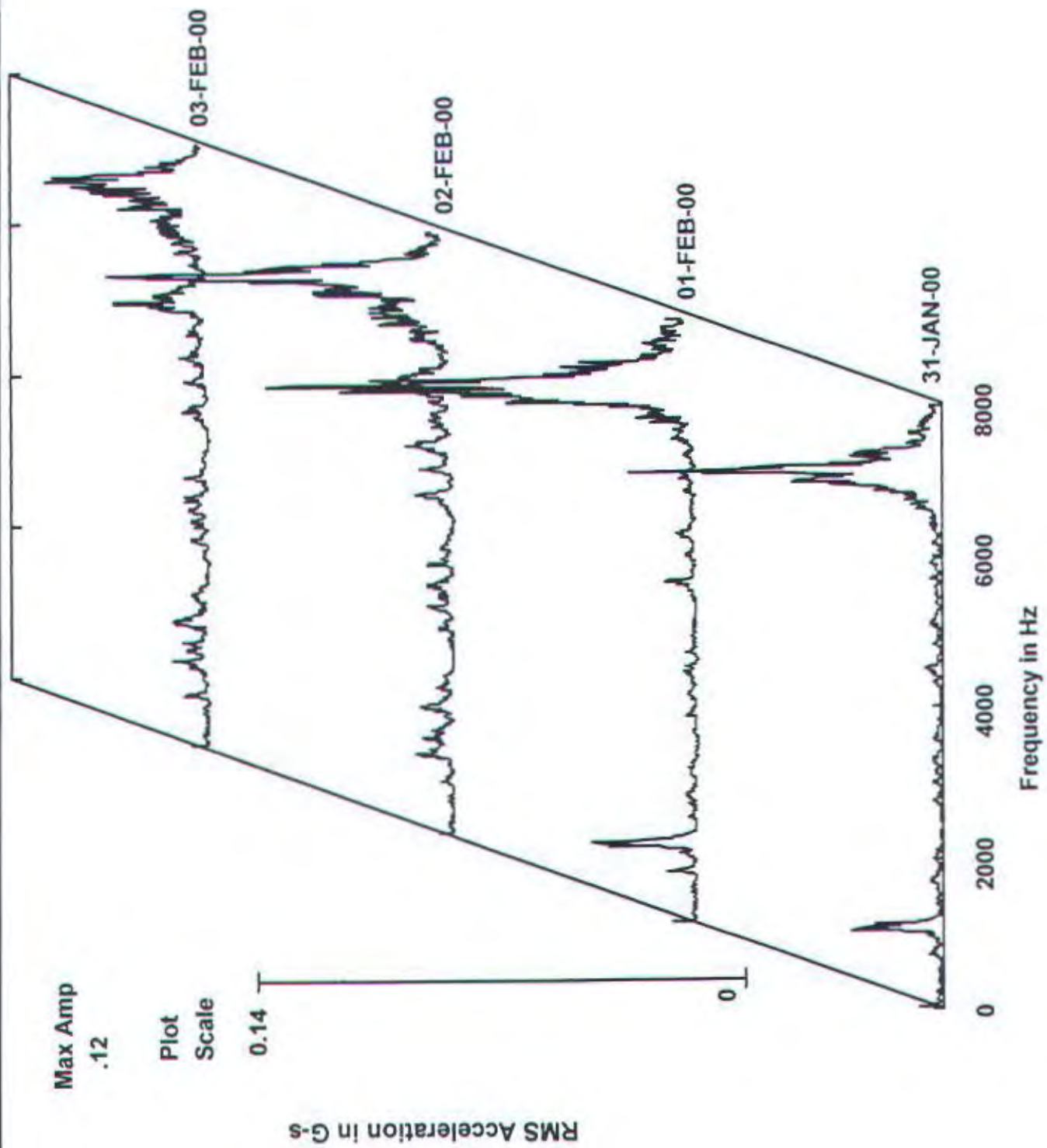
1200

600

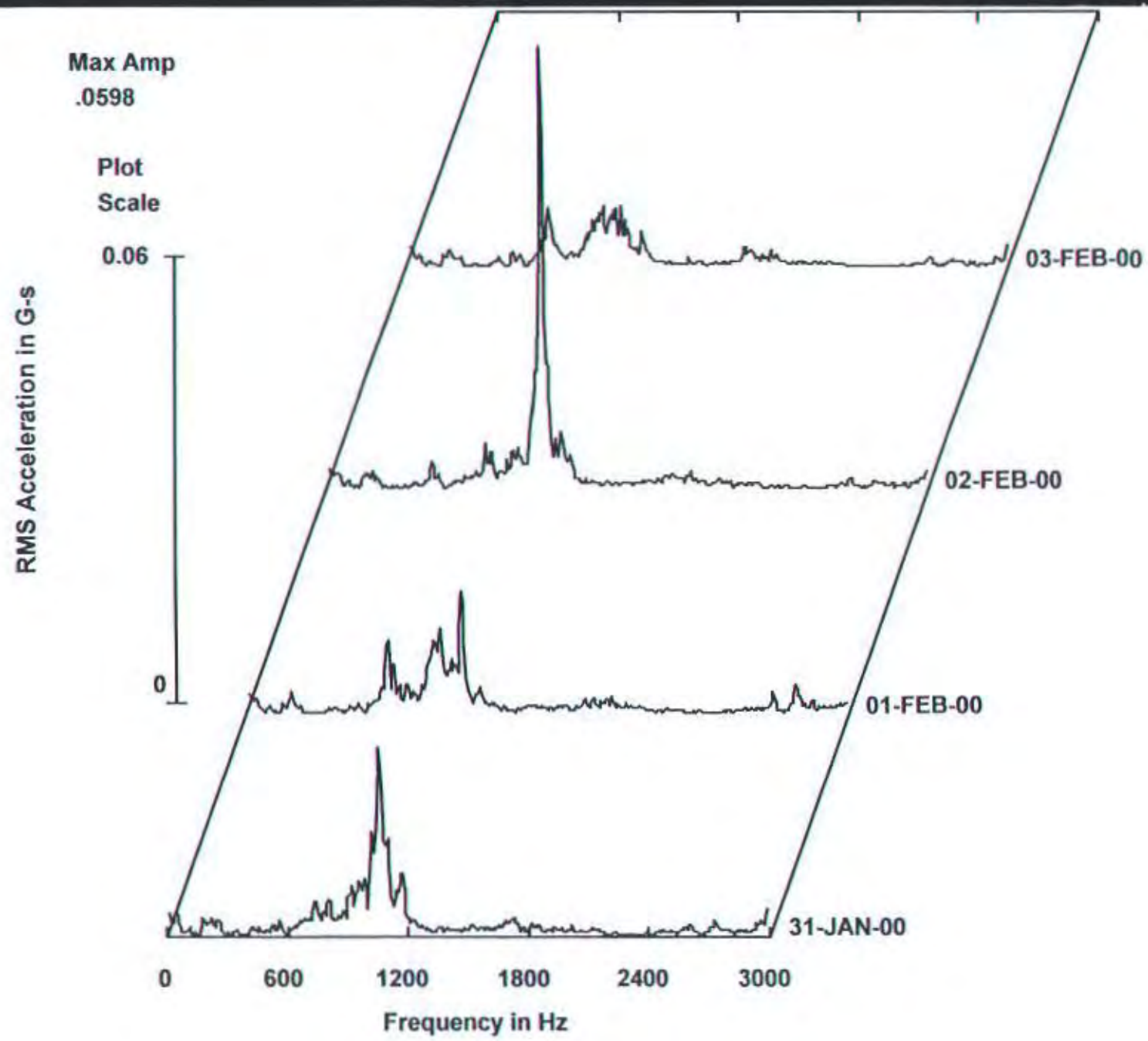
0

Frequency in Hz









SENSOR: VIB-1000-2-1000

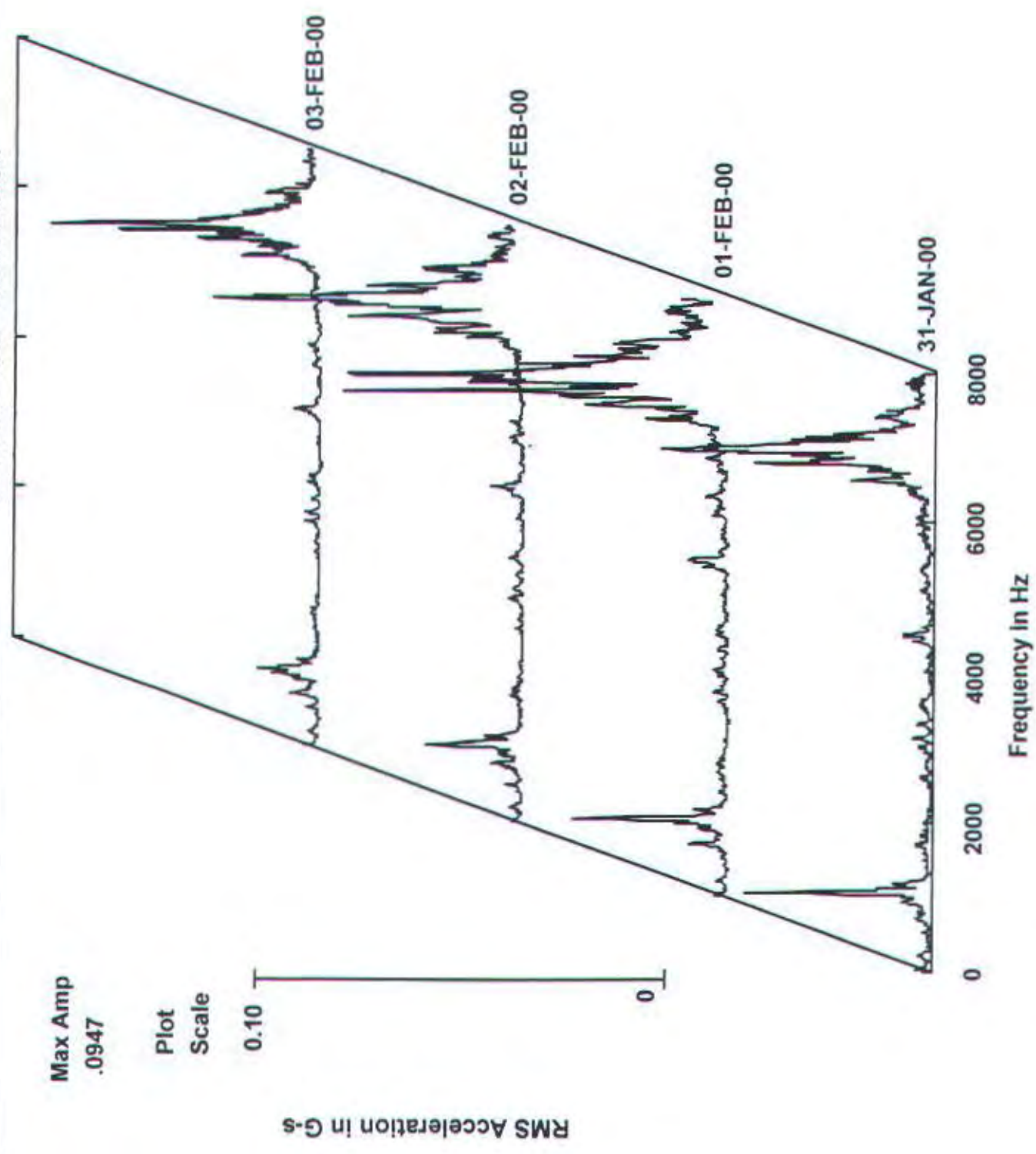
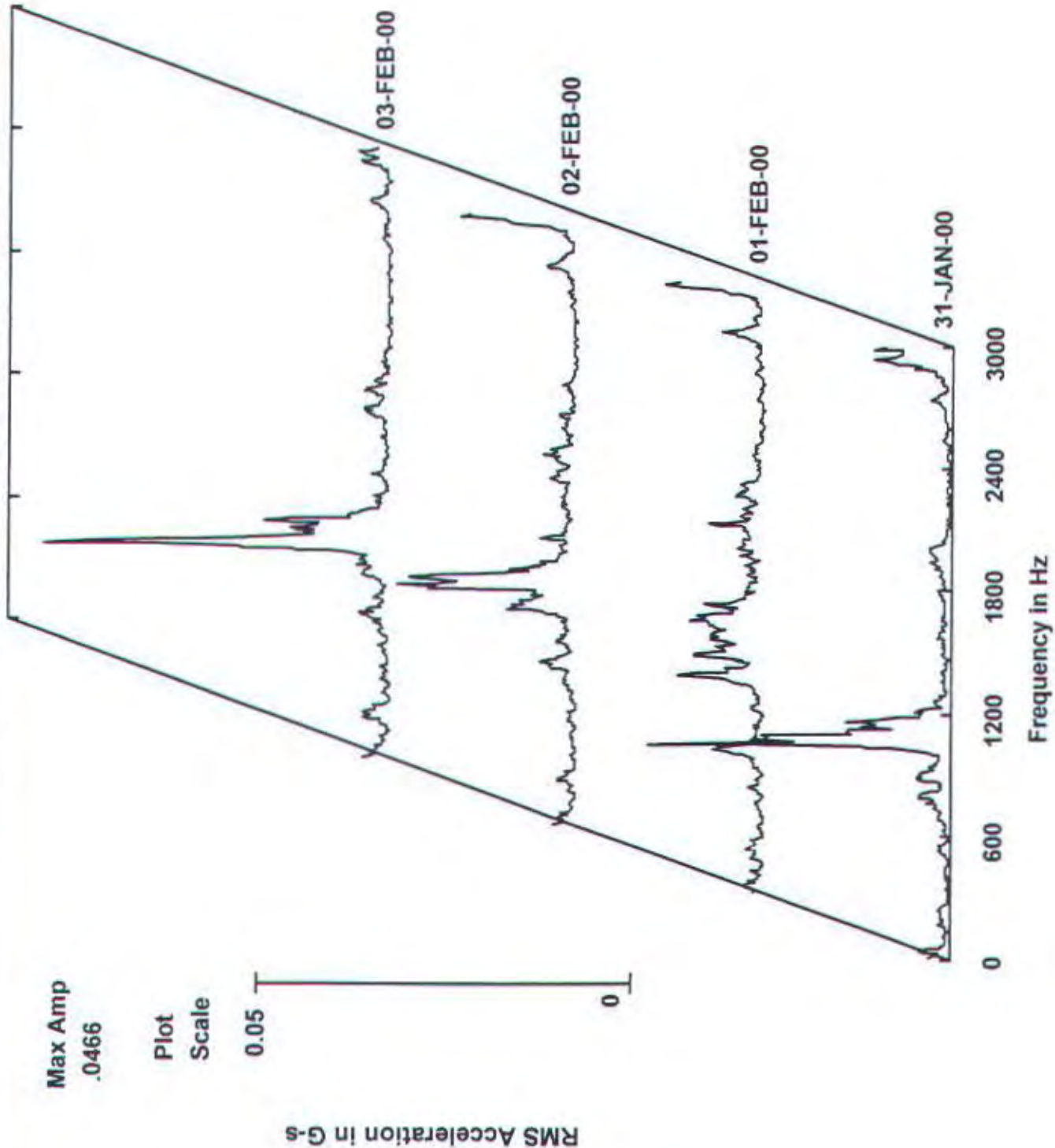
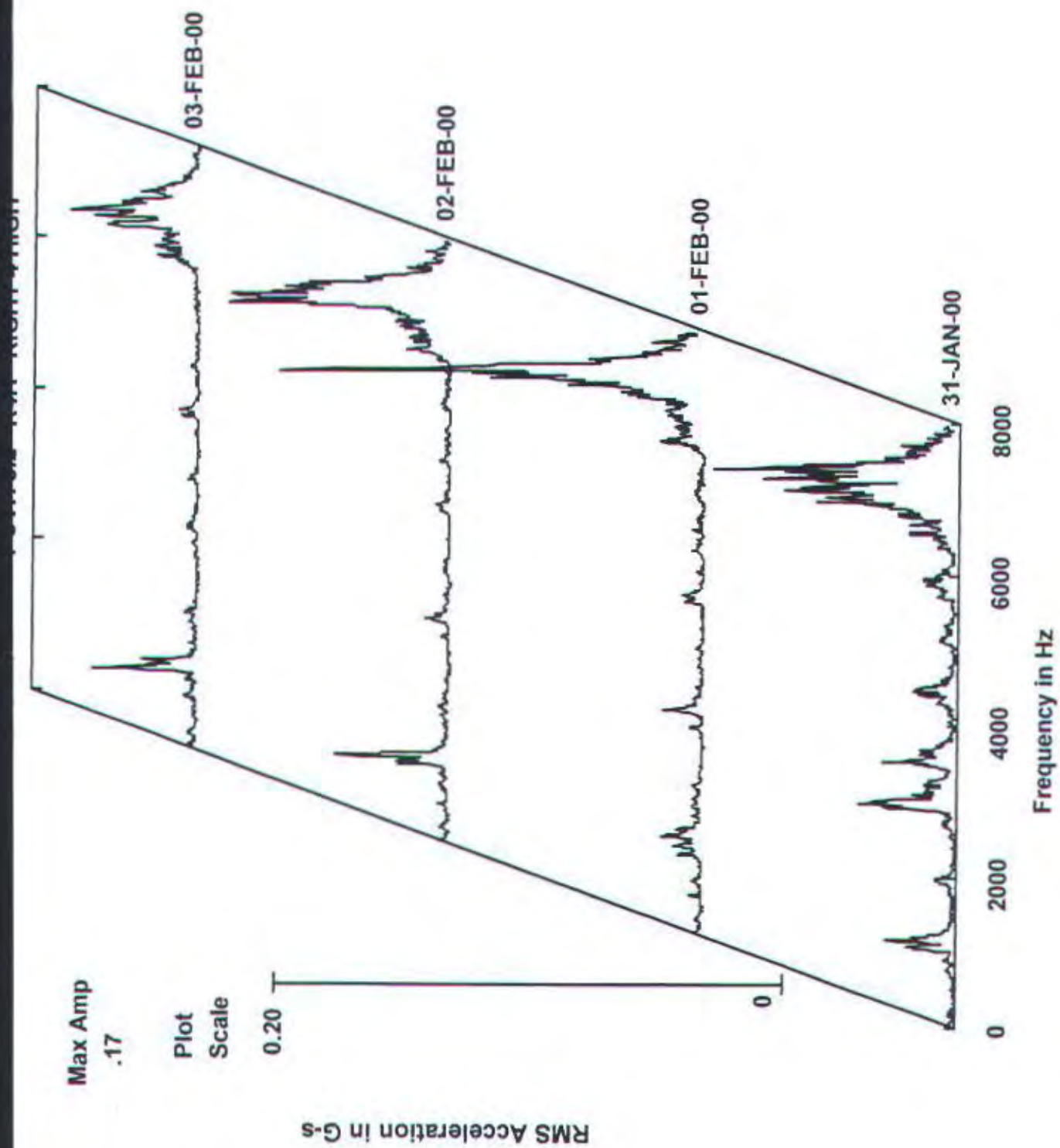


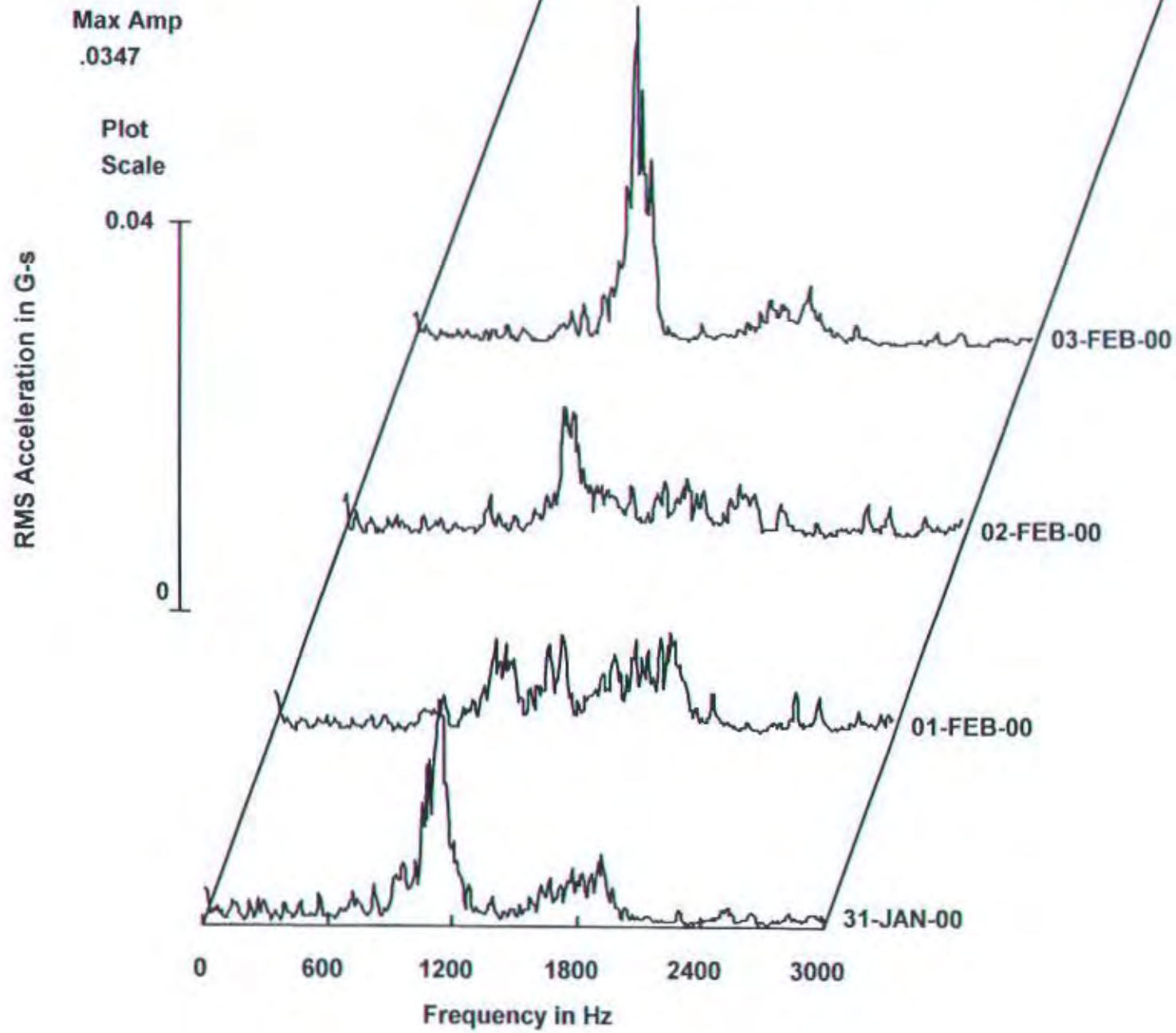
FIGURE 10-10 THE RIGHT PEAK

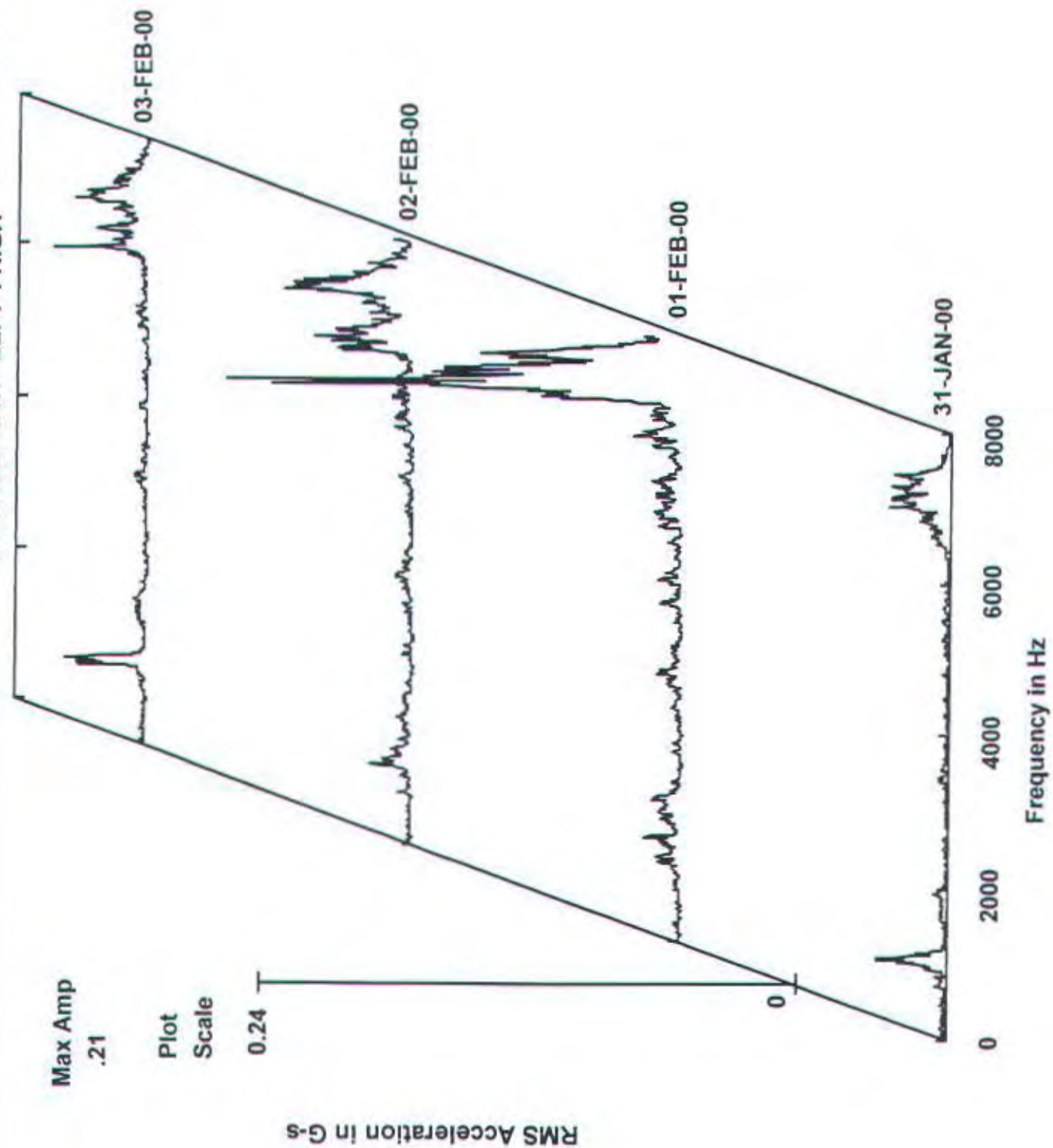




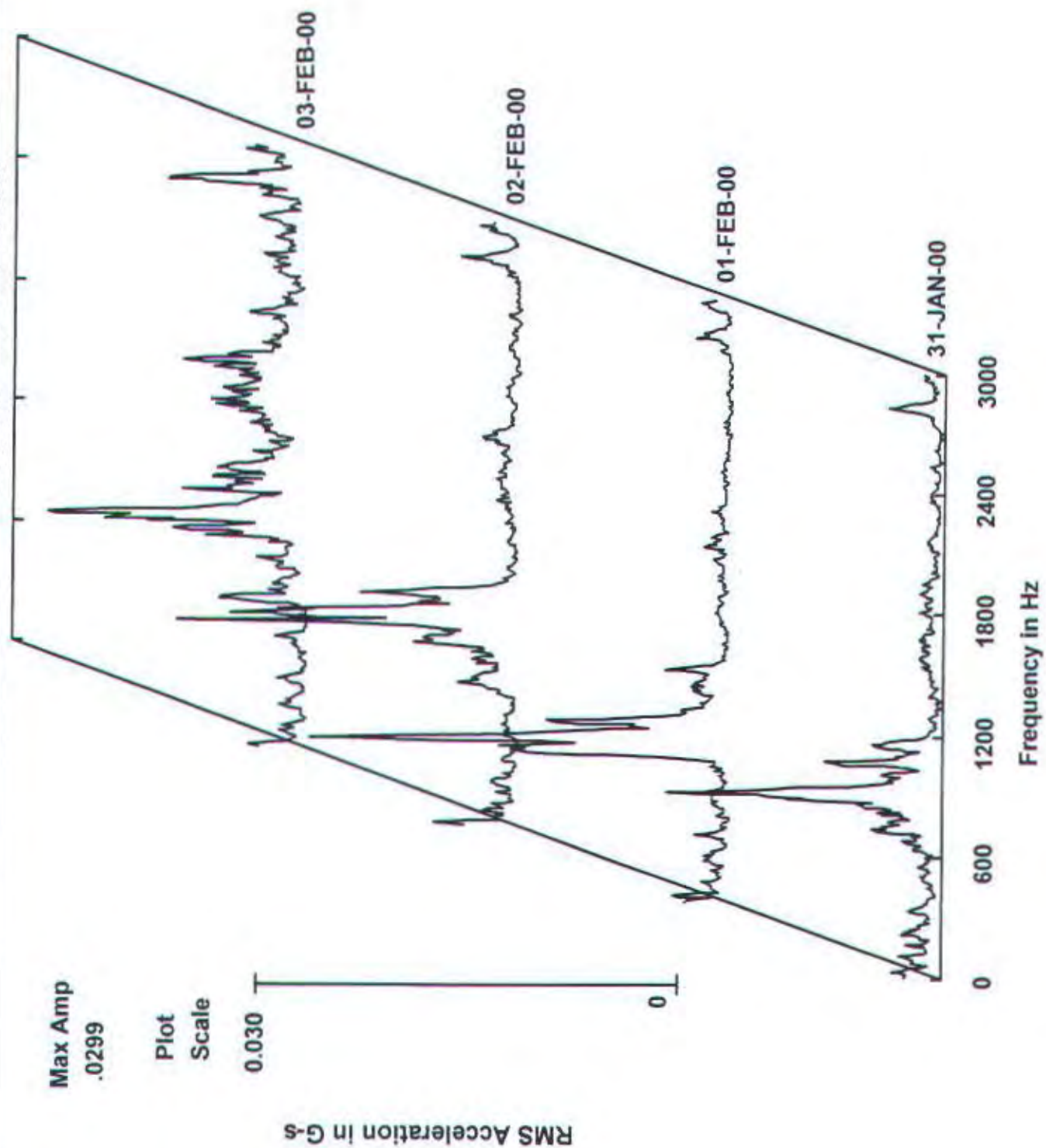


POV 15.2 °E/E LEFT FLOW

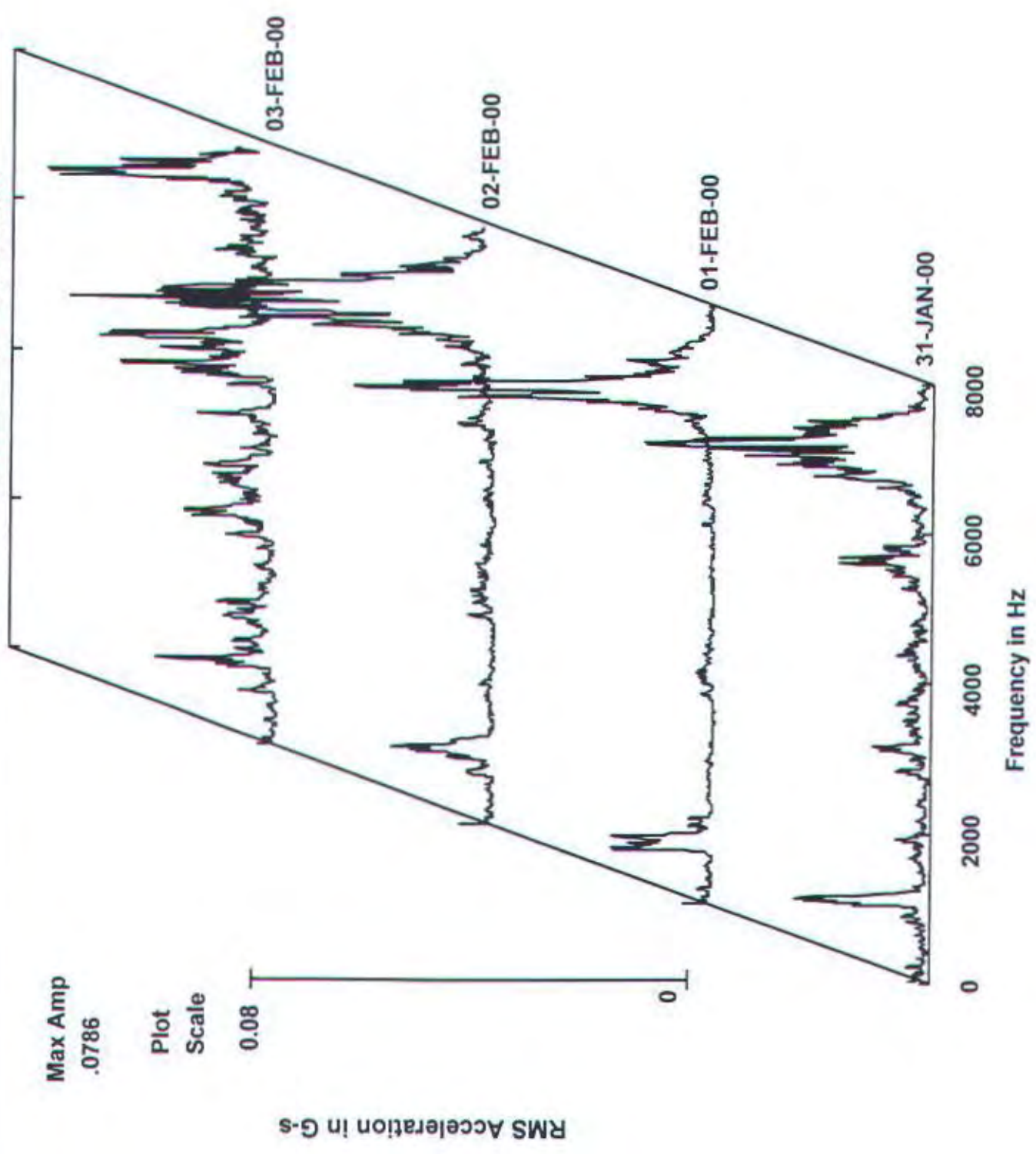




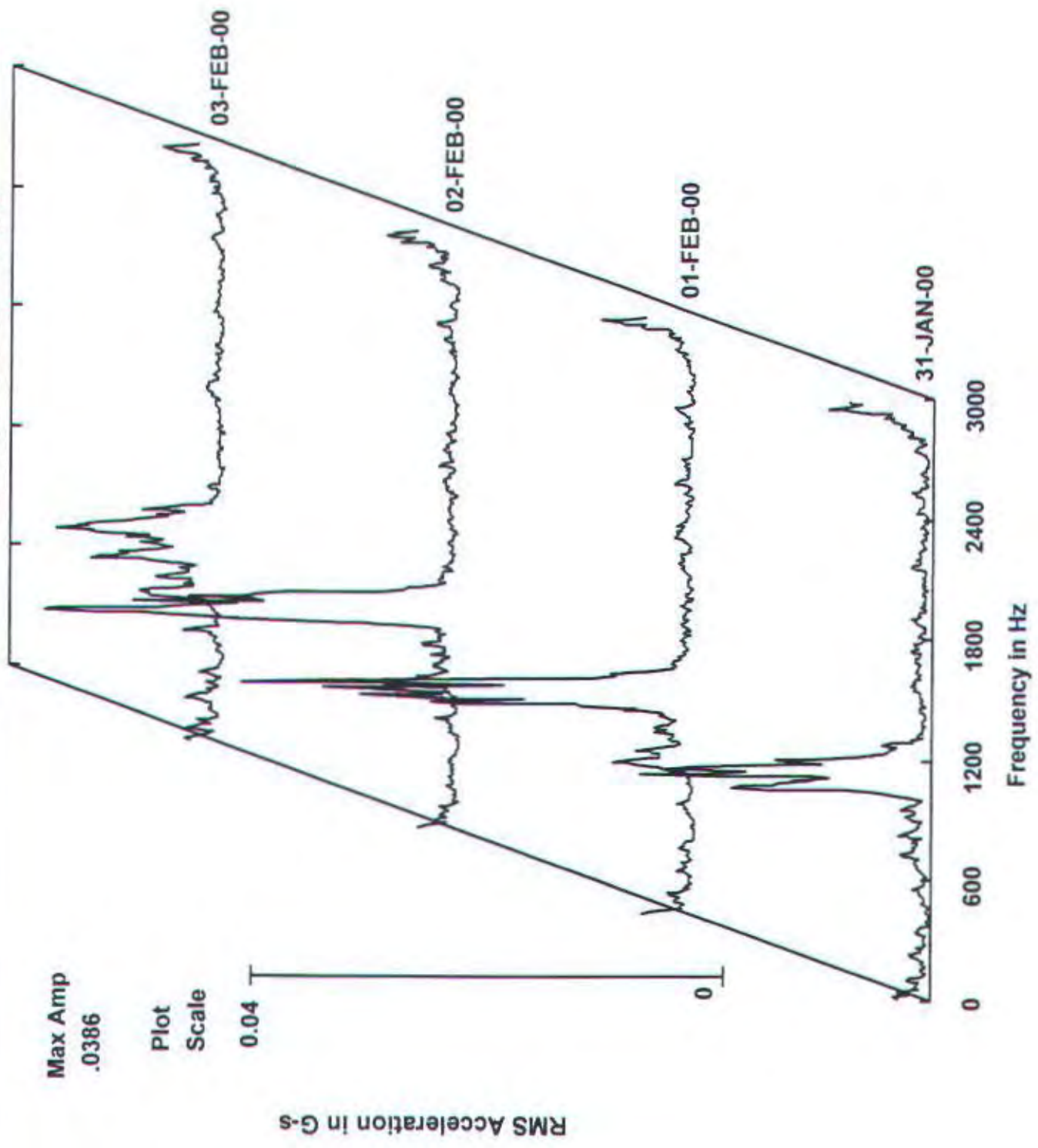




Source Left Z Motion

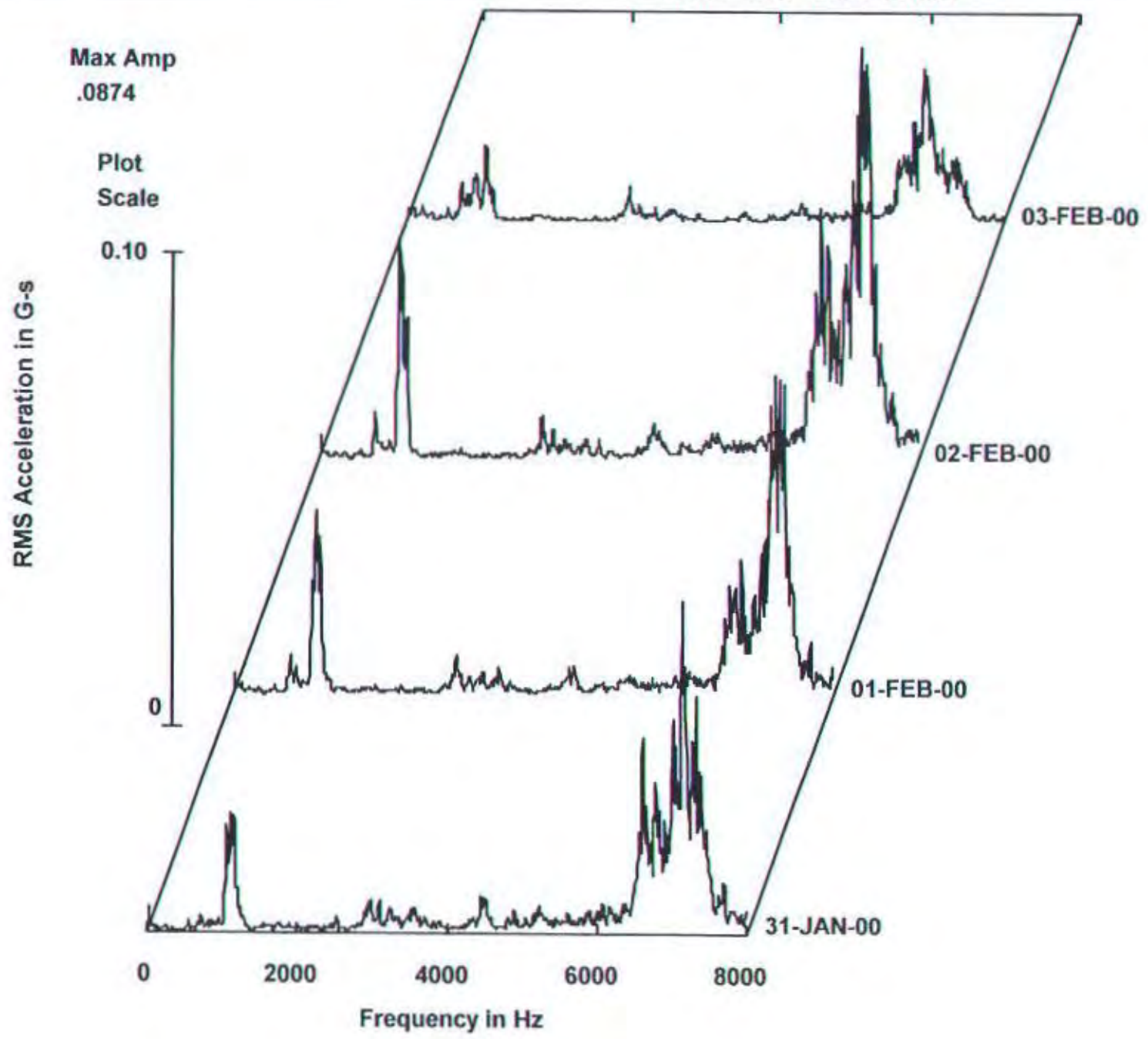


CONTROL THE LEFT SIDE

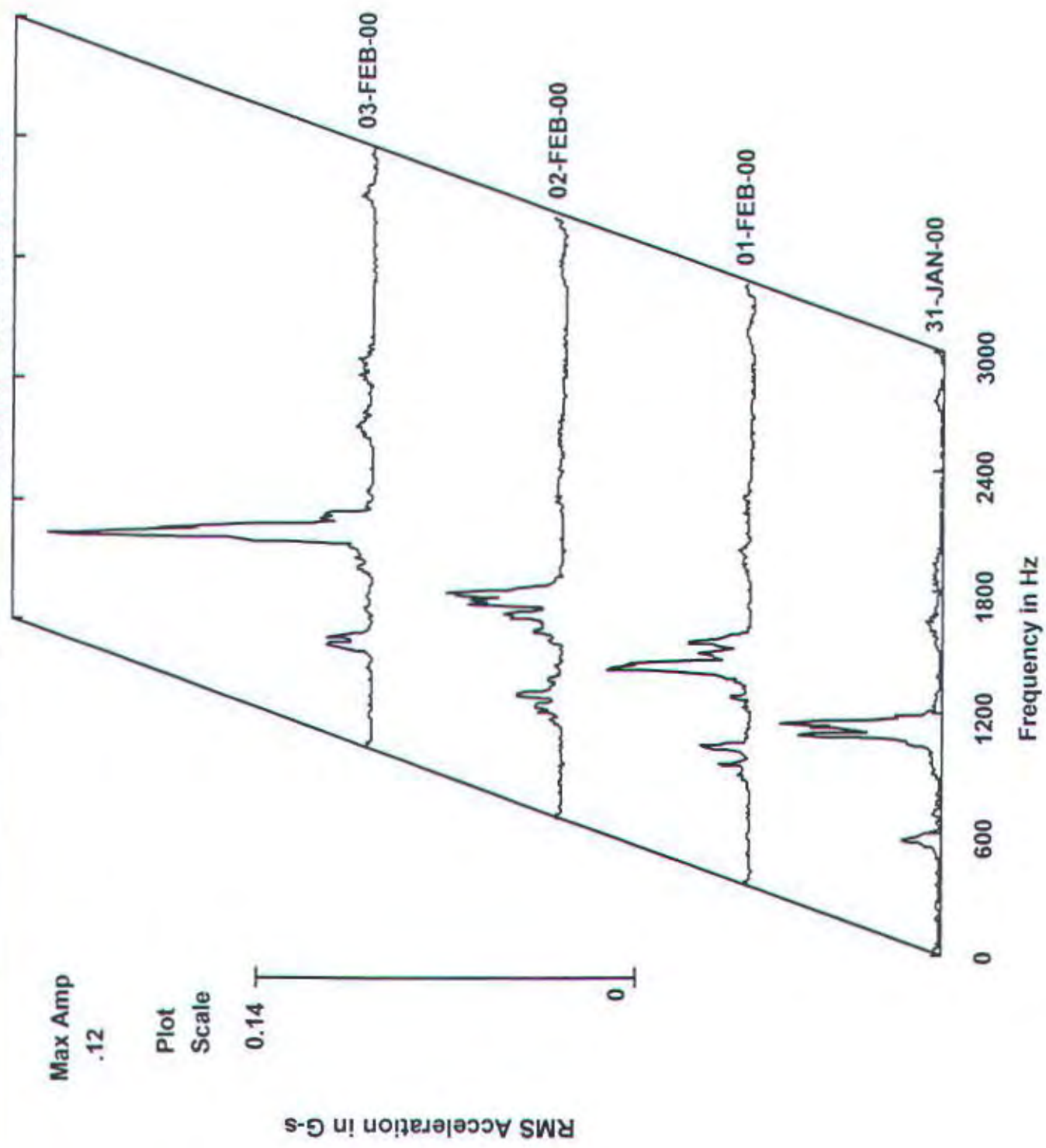




POWER SPECTRUM



1000000 RATE RIGHT FEON



Power Spectral Density Plot

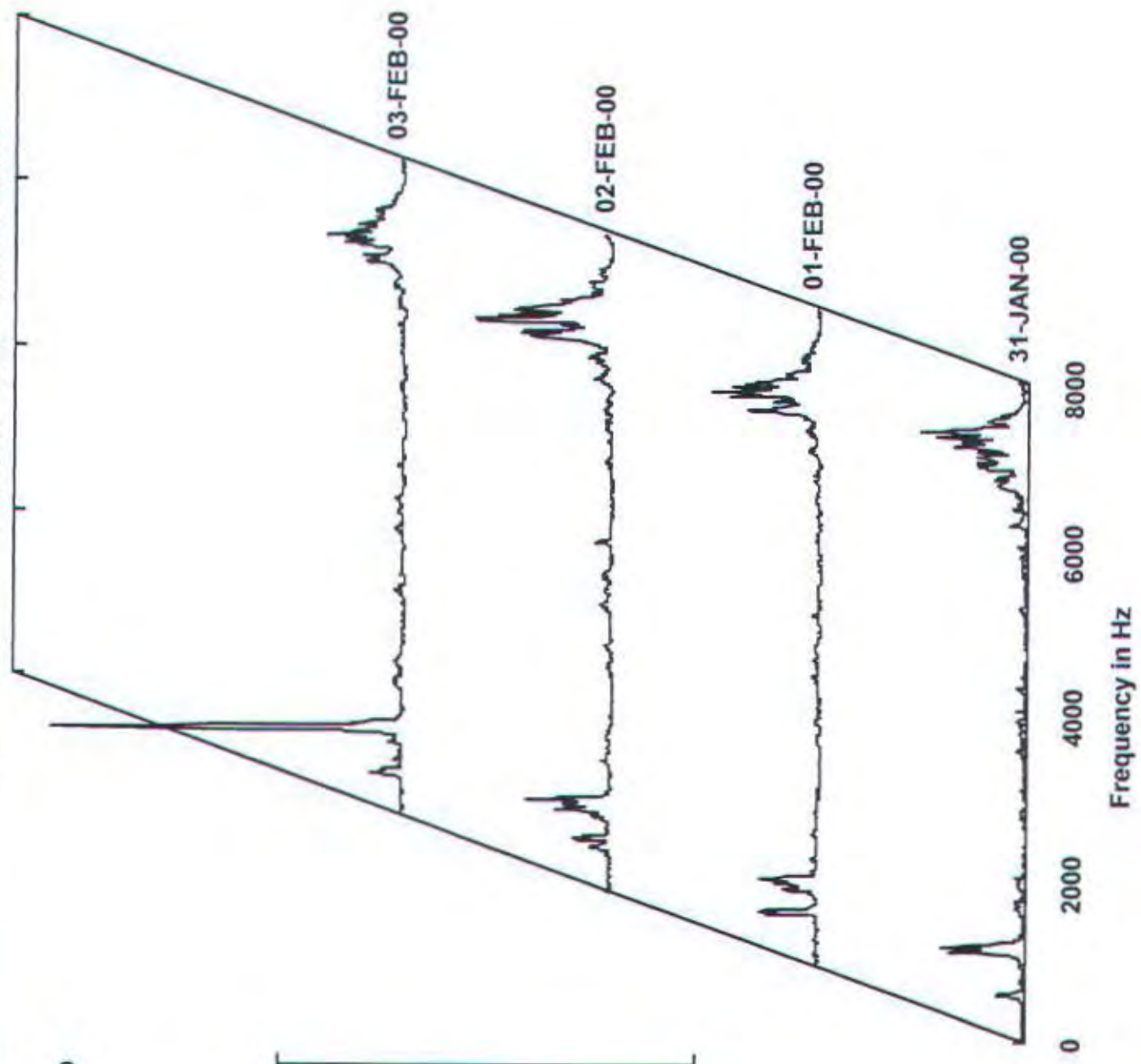
RMS Acceleration in G-s

Max Amp  
.20

Plot  
Scale

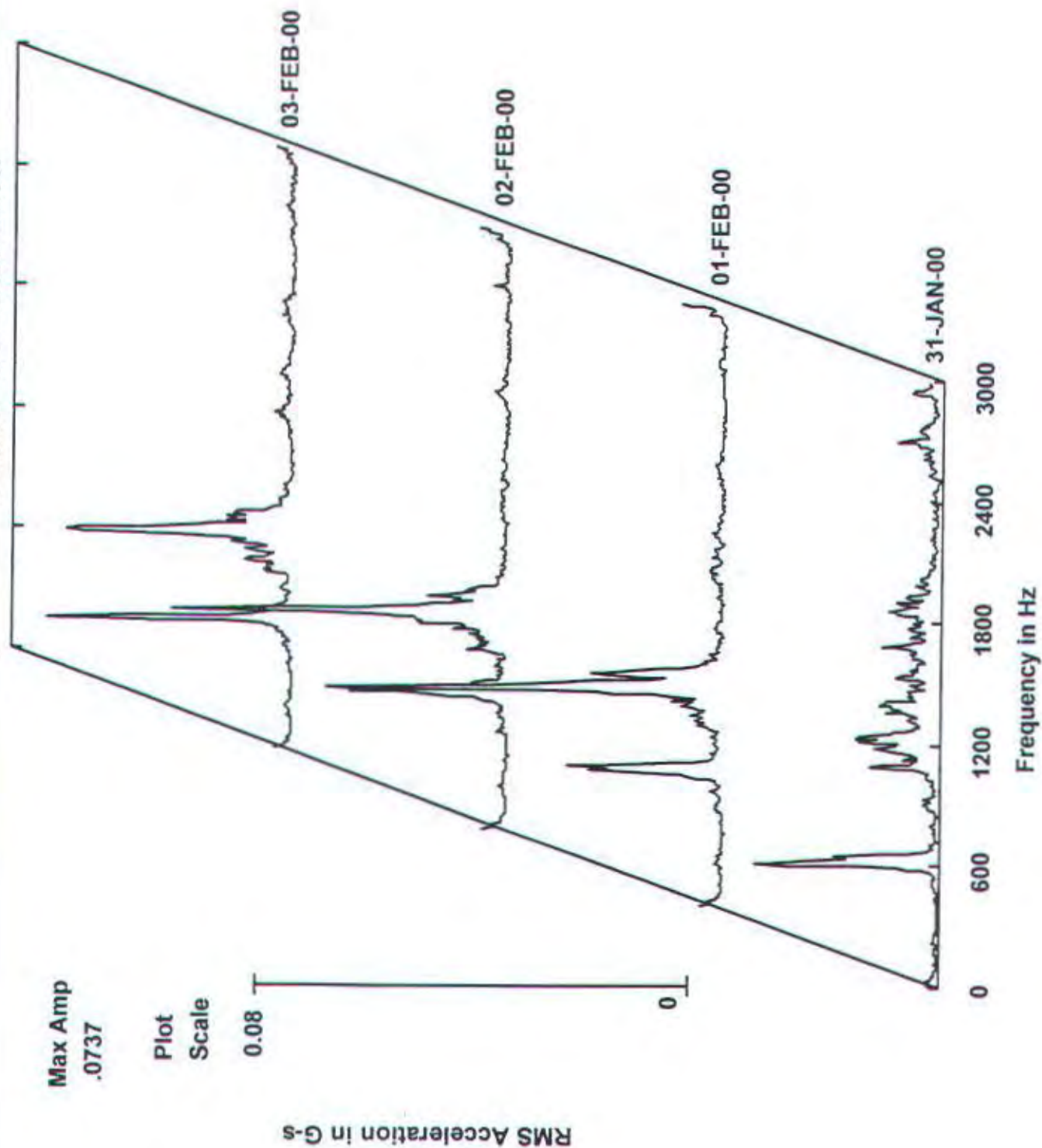
0.24

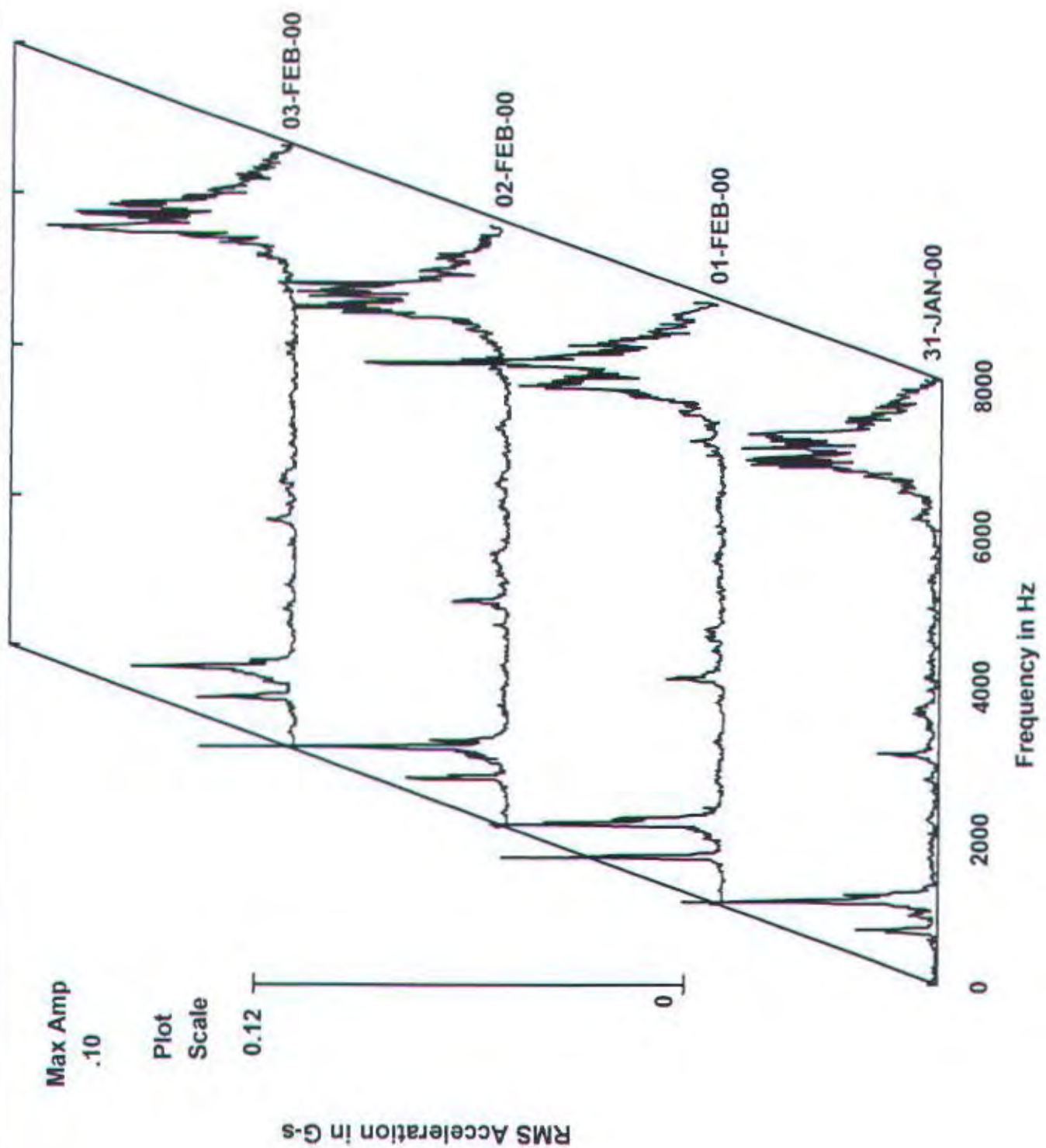
0



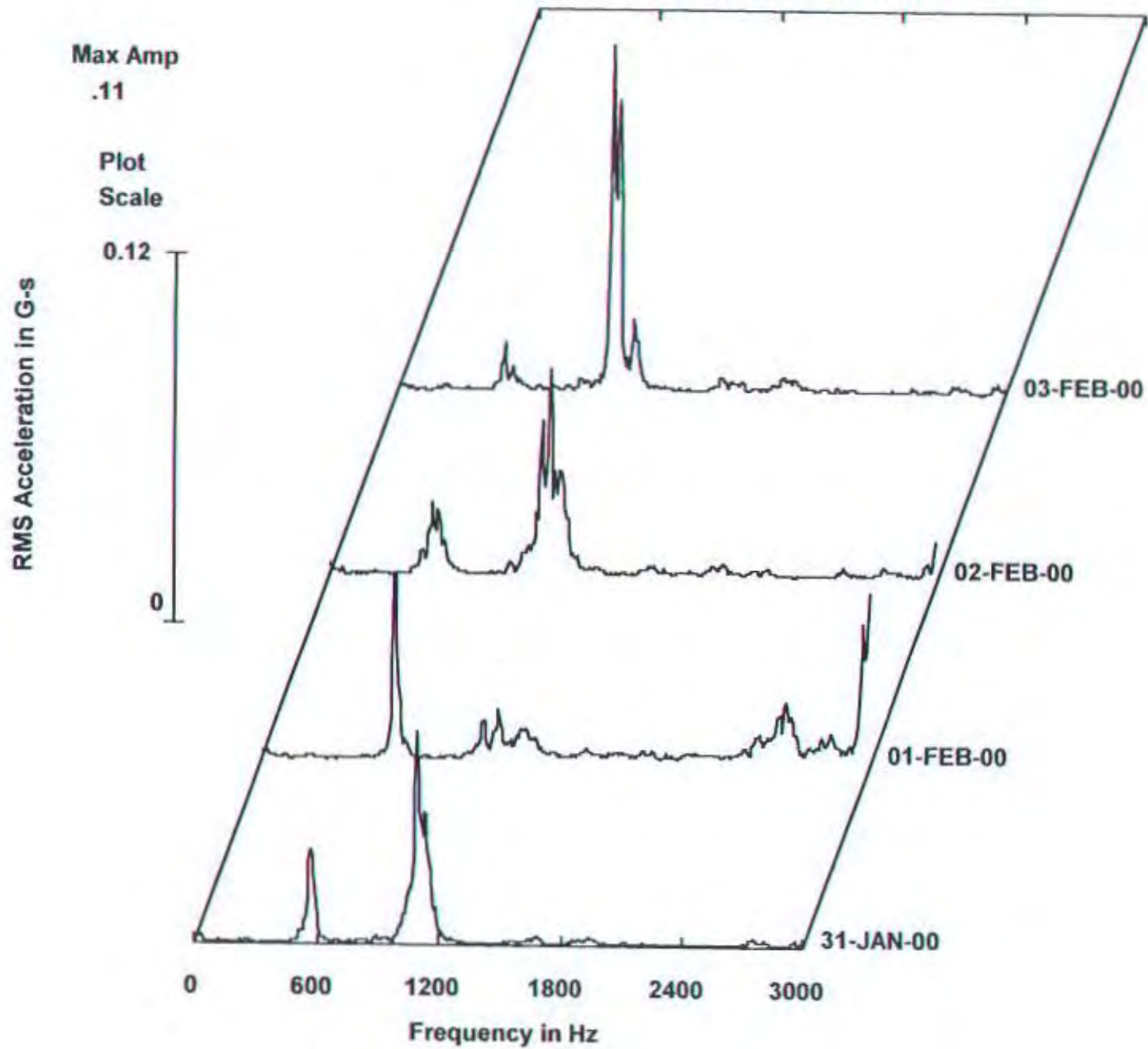


SENSORS ARE NOT PLACED

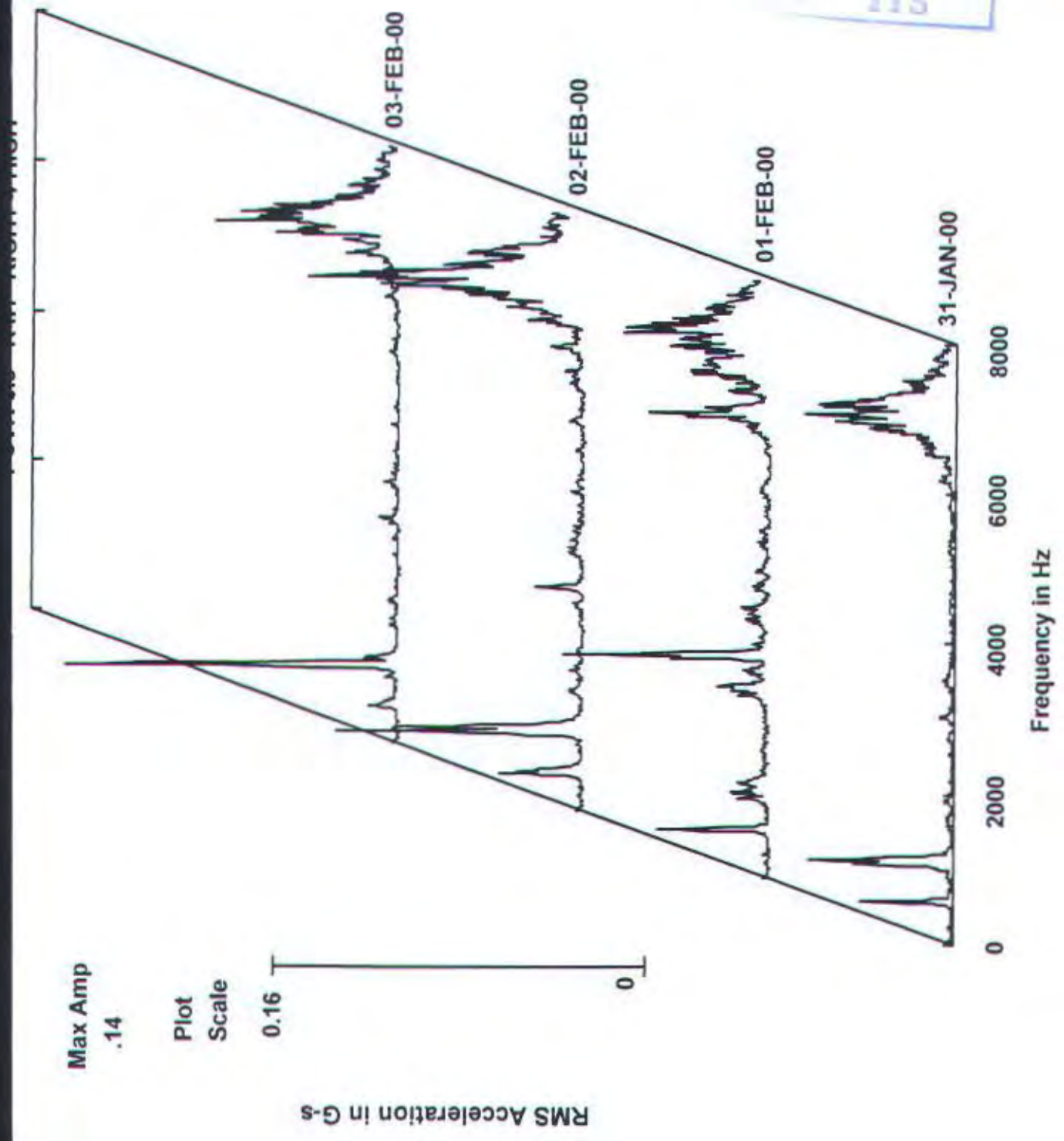


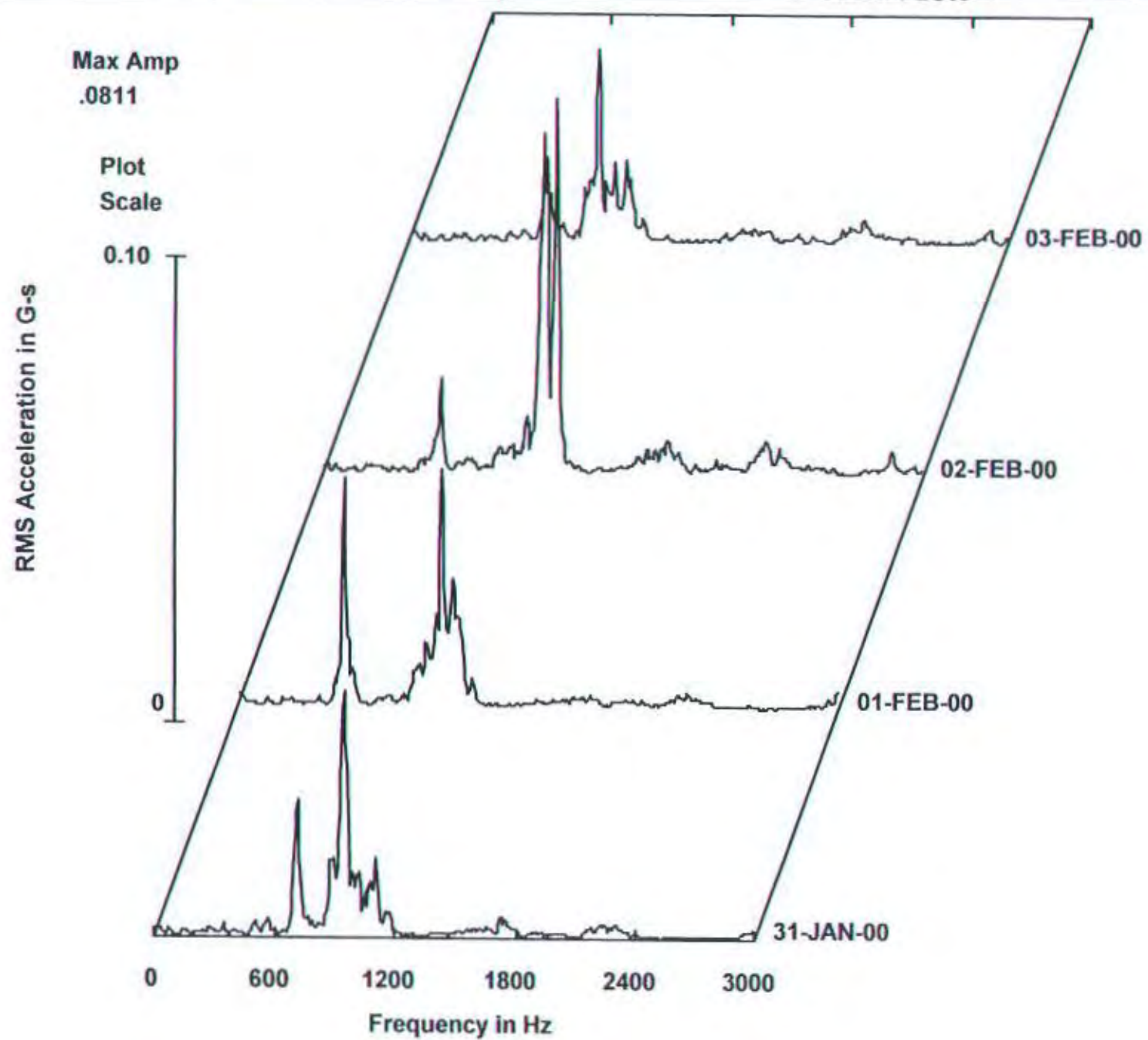


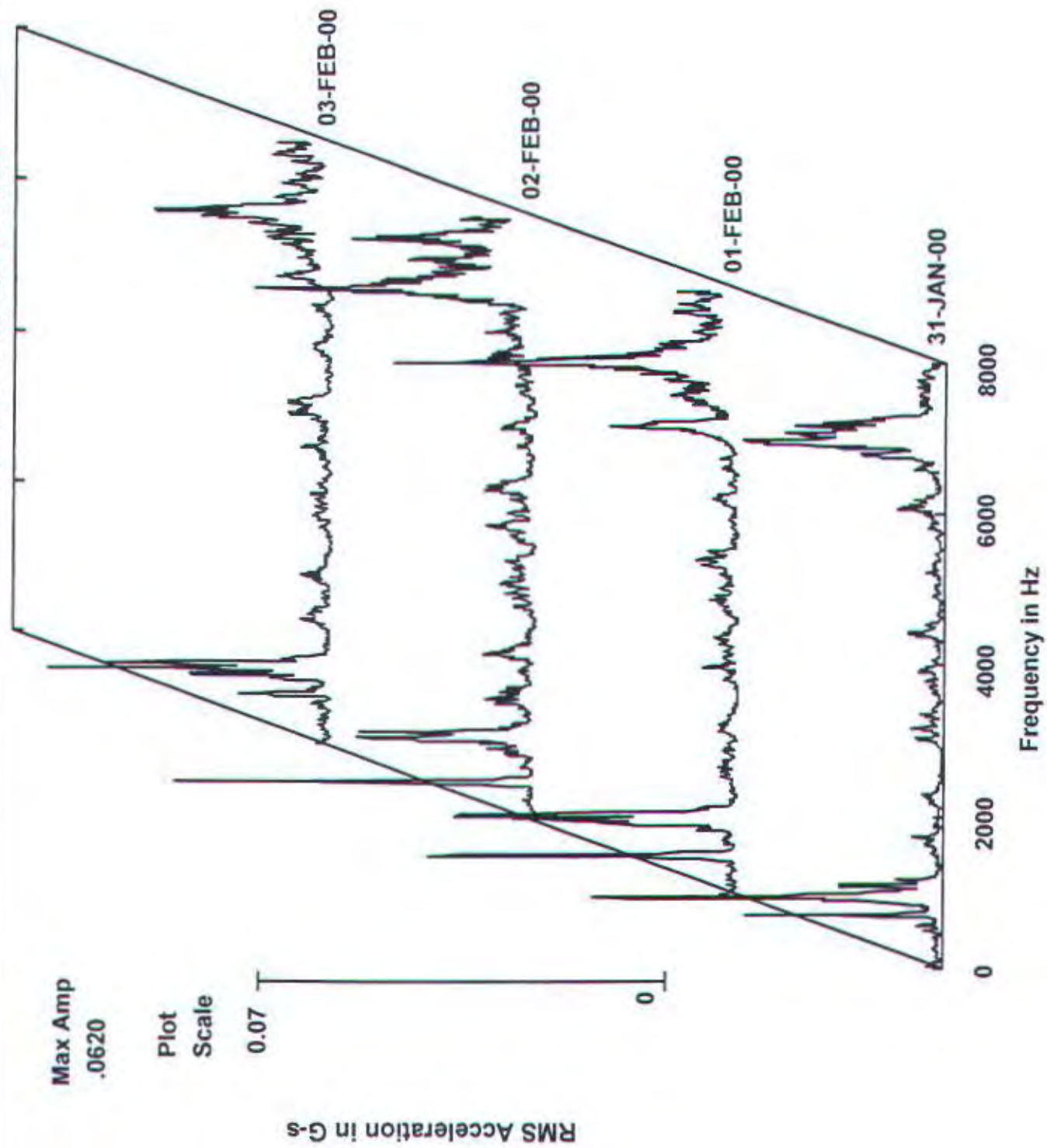
ST - PENGUKURAN PIPA CV HRSG 3.3  
PCVH 3.3 -R4L RIGHT 4 LOW



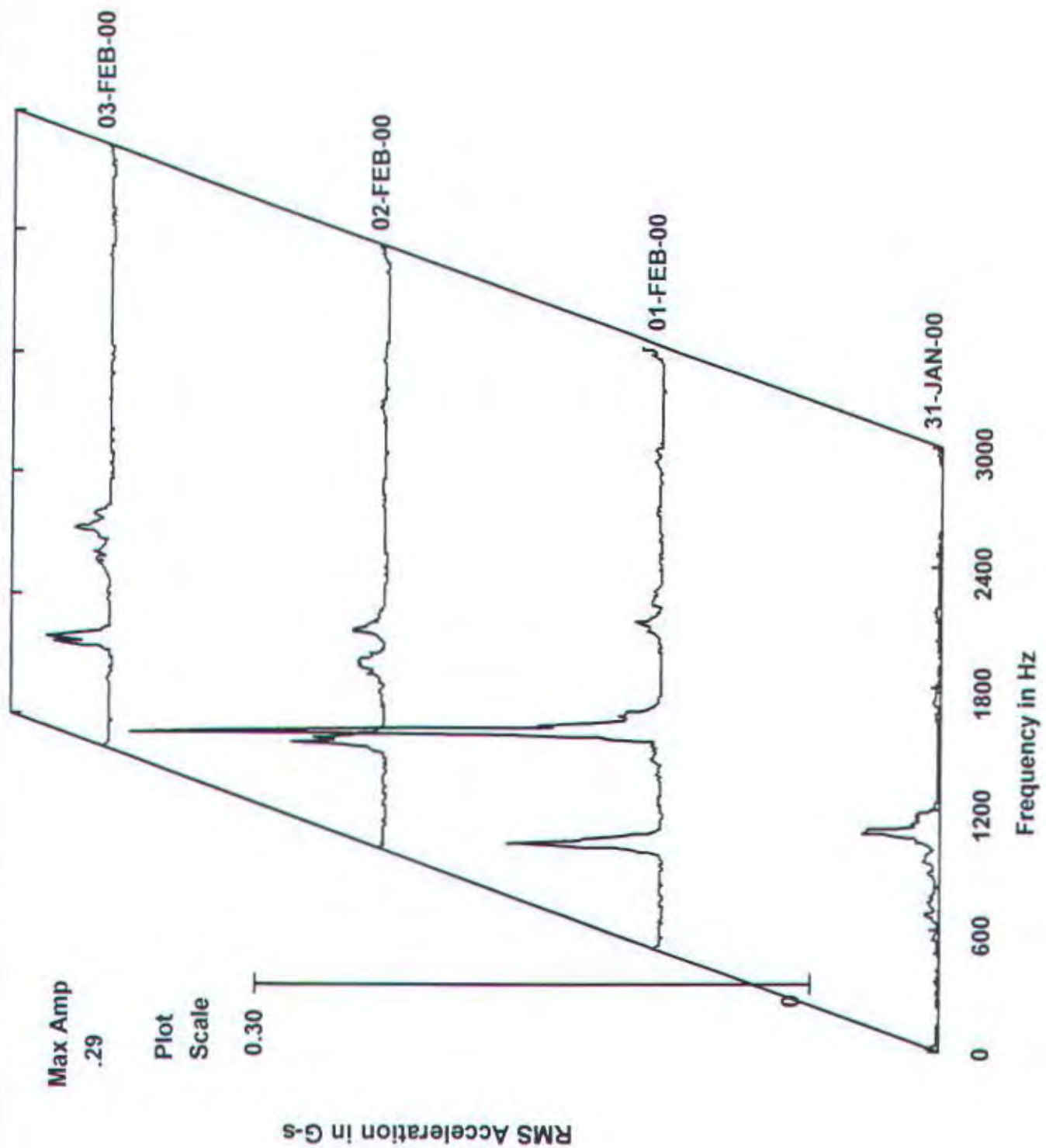


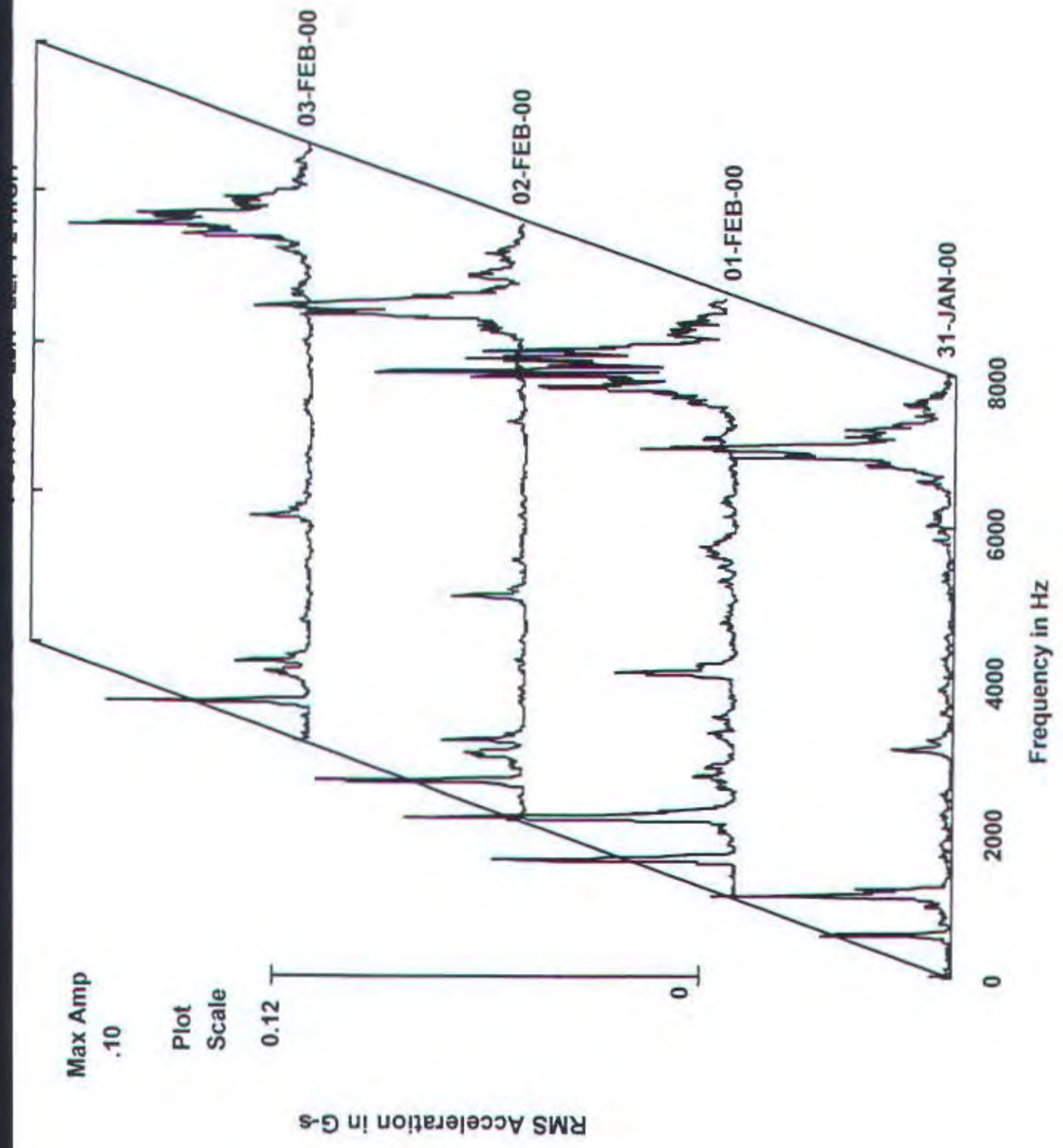




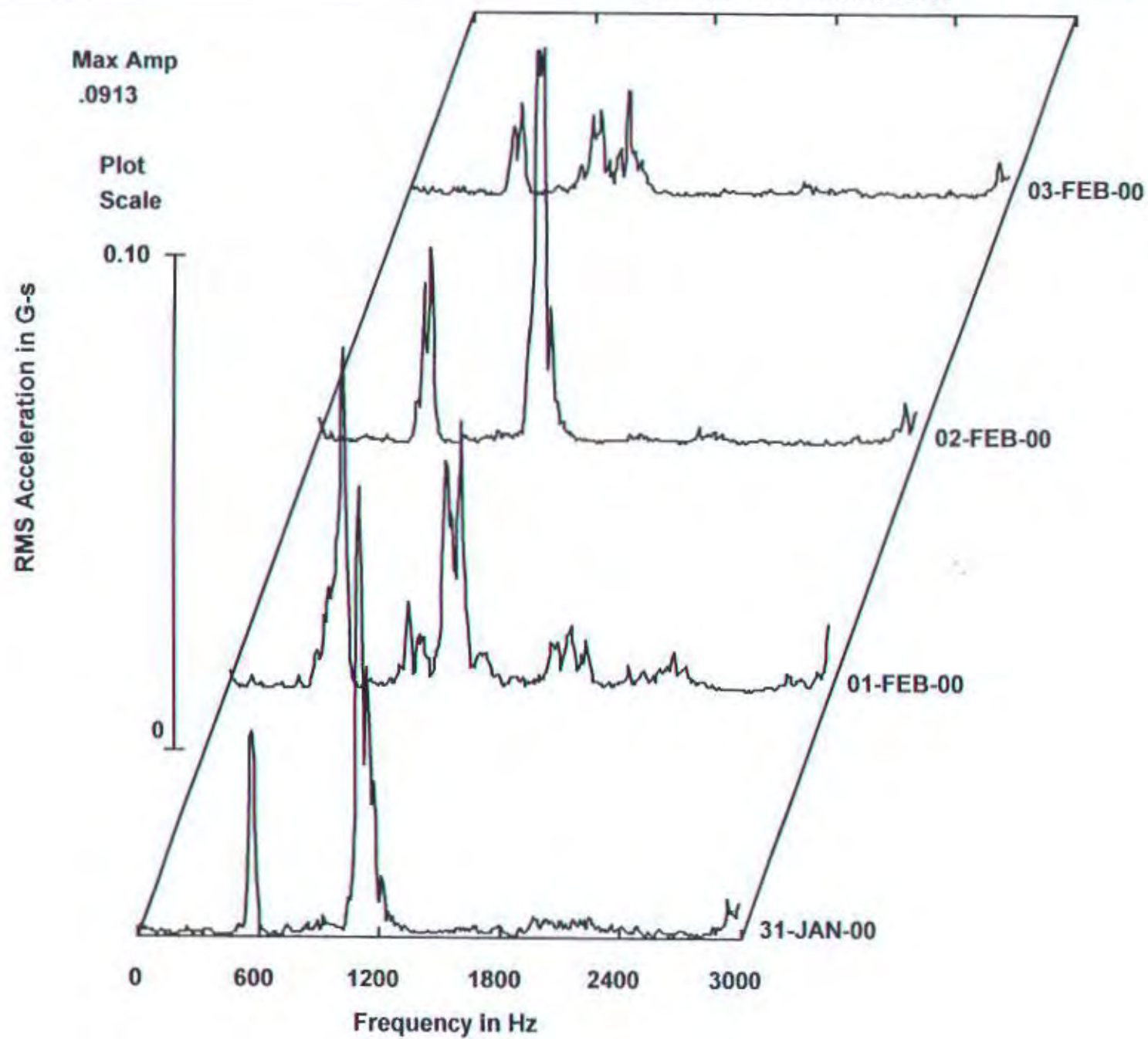
[illegible]



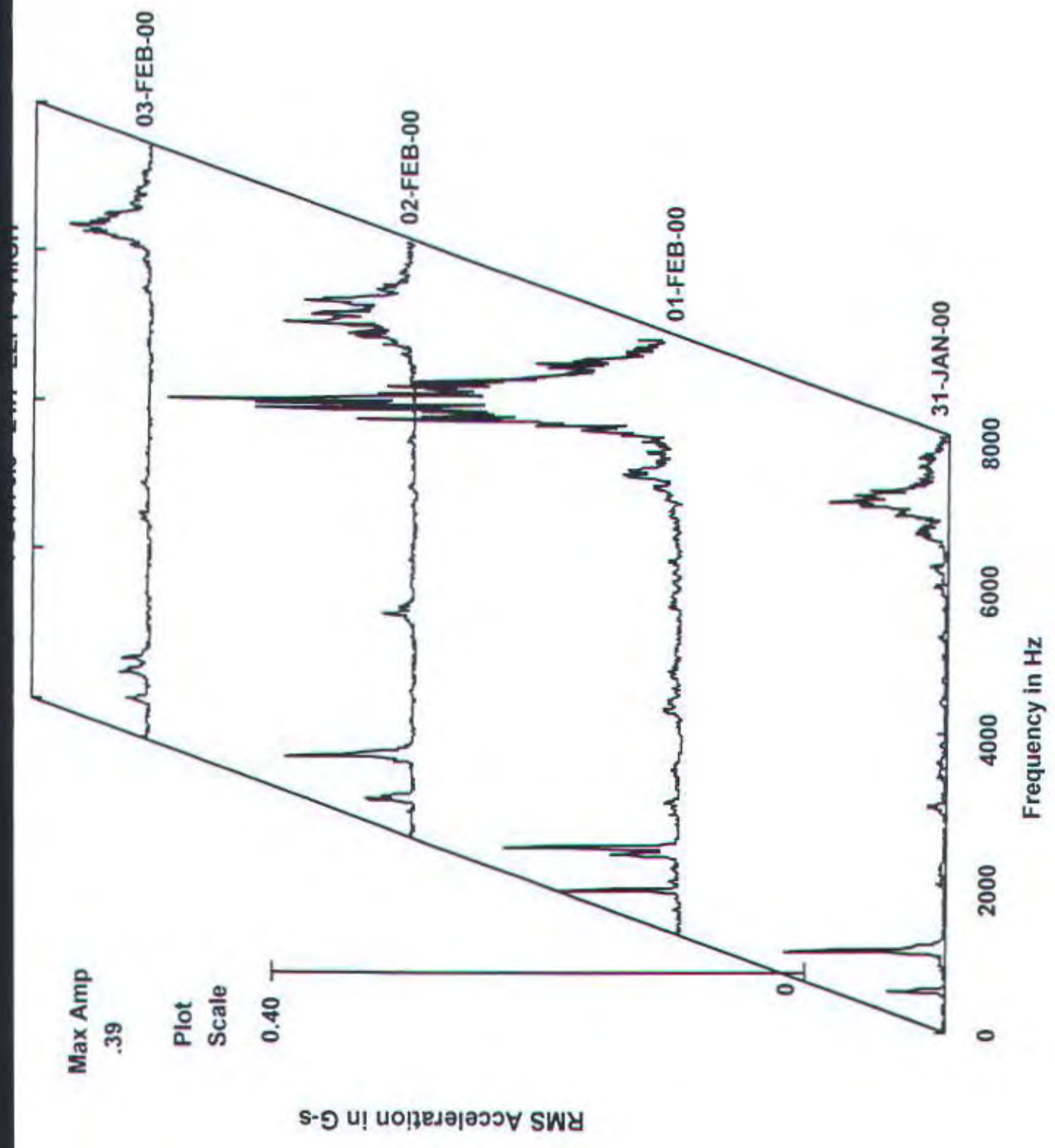




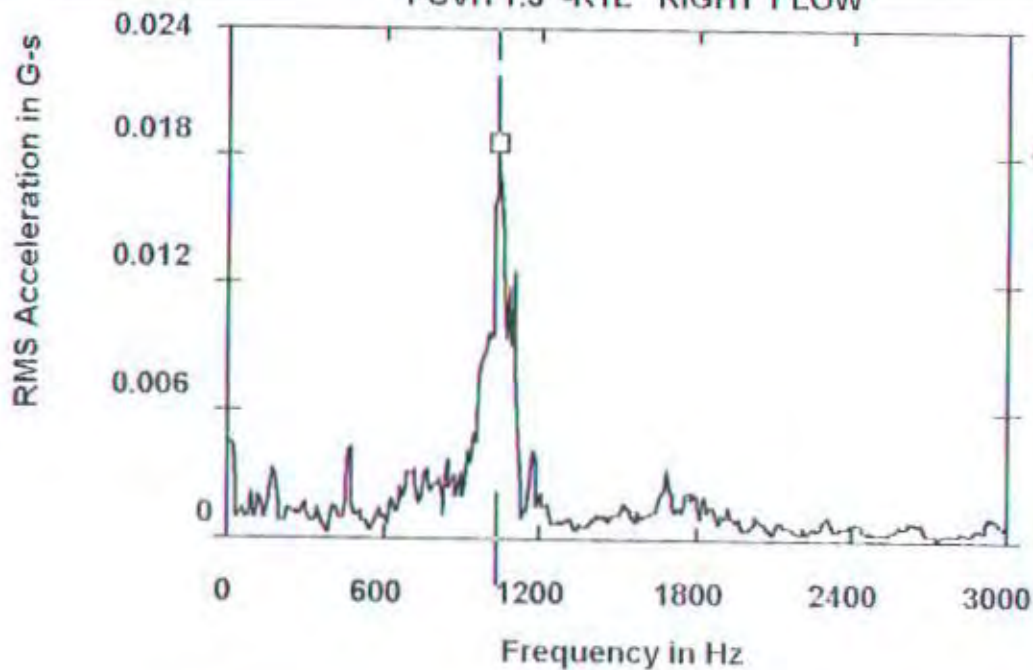
PC1135-212-LEFT-LOW



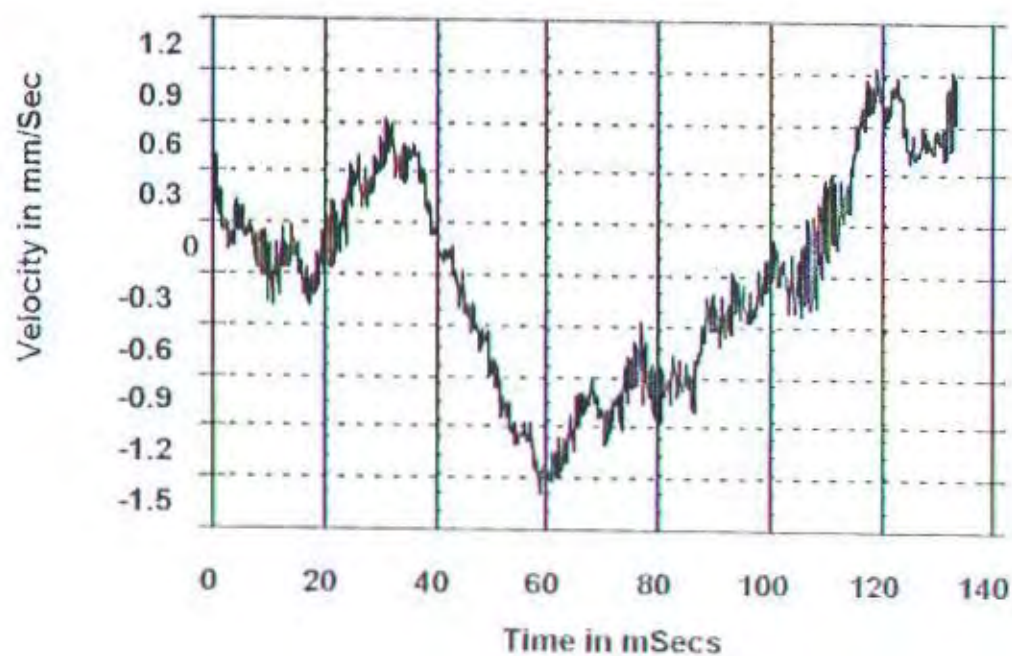




# PCVH1.3 -RTE RIGHT FLOW



ROUTE SPECTRUM  
 31-JAN-00 13:48:43  
 OVRALL= .6426 V-AN  
 RMS = .0497  
 LOAD = 100.0  
 RPM = 3000.  
 RPS = 50.00

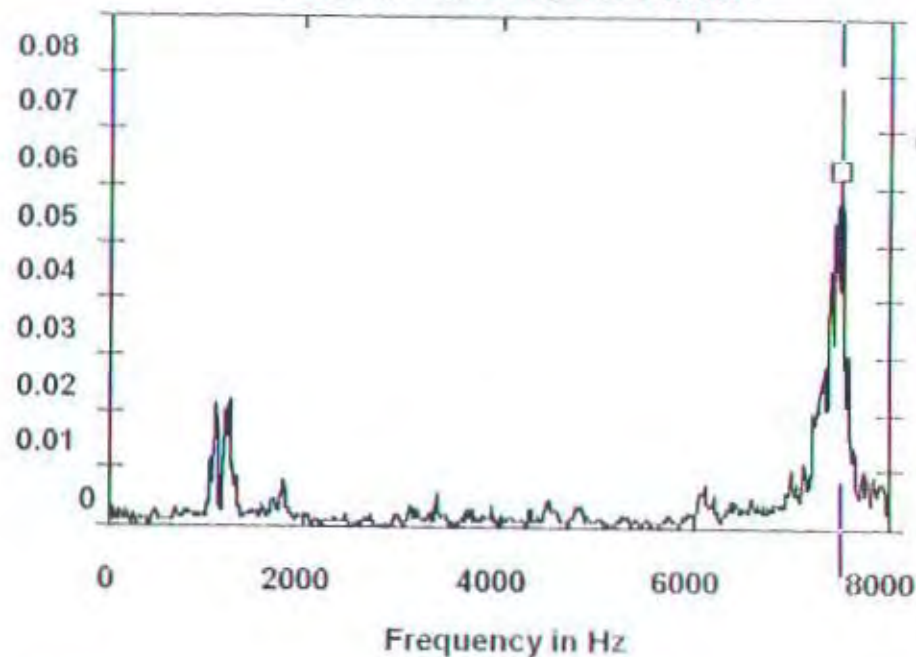


ROUTE WAVEFORM  
 31-JAN-00 13:48:43  
 PK = .8719  
 PK(+) = 1.23  
 PK(-) = 1.29  
 CRESTF= 2.09

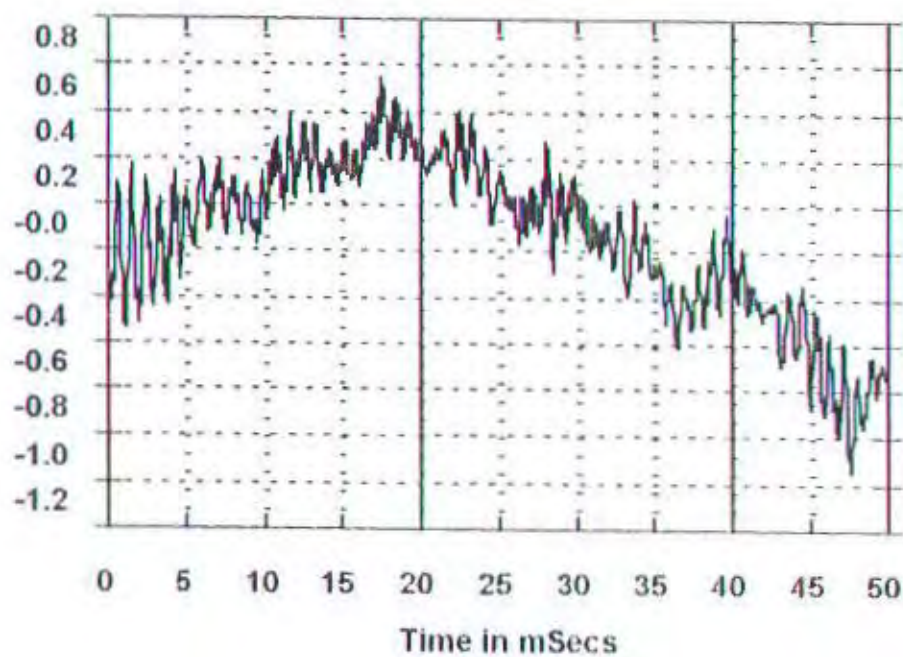
Freq: 1042.5  
 Ord: 20.85  
 Spec: .01819

PCV11.3-RTH-RIGHT-THIGHT

RMS Acceleration in G-s



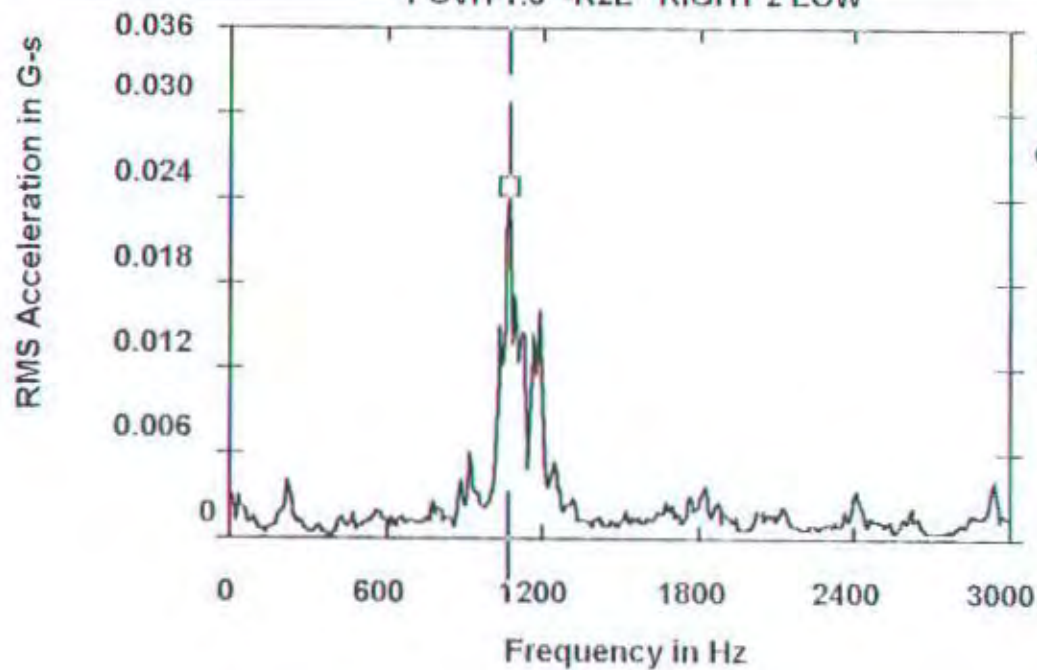
Velocity in mm/Sec



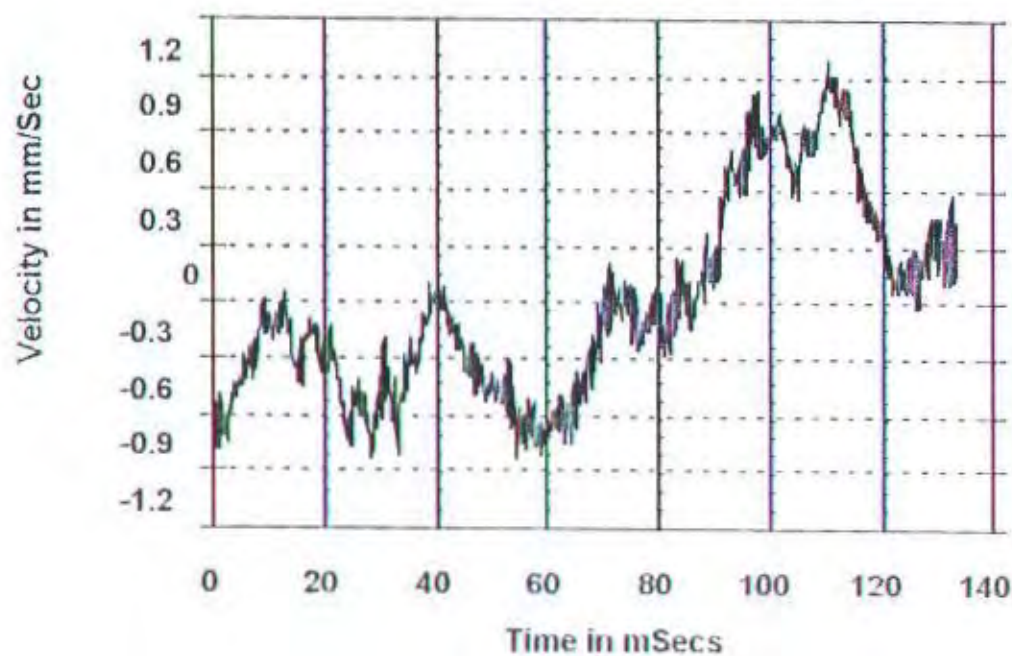
Freq: 7490.0  
Ordr: 149.80  
Spec: .06177



# PCV11.3 -R2L- RIGHT 2 LOW



ROUTE SPECTRUM  
 31-JAN-00 13:50:57  
 OVRALL= .7193 V-AN  
 RMS = .0626  
 LOAD = 100.0  
 RPM = 3000.  
 RPS = 50.00

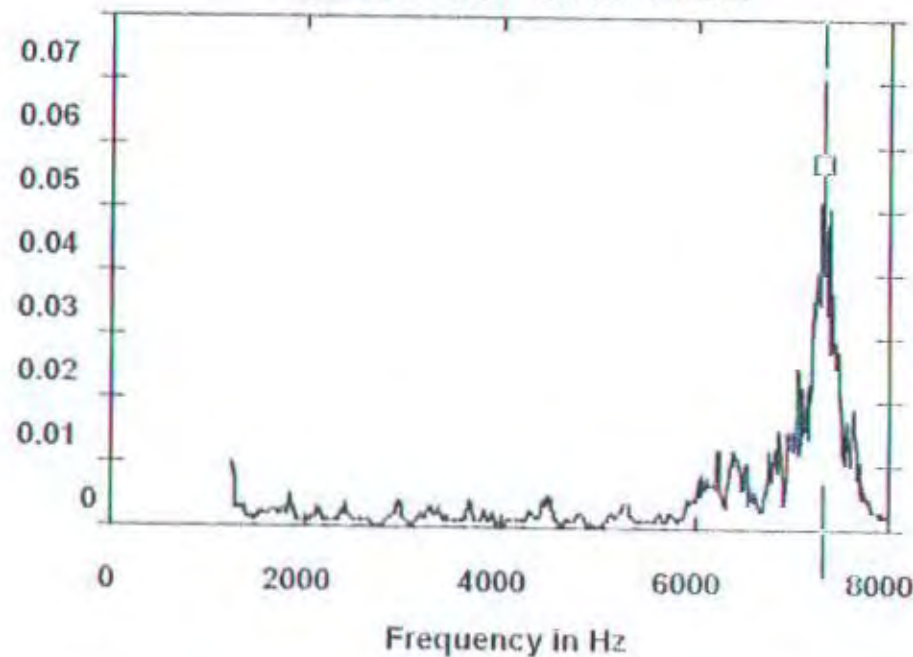


ROUTE WAVEFORM  
 31-JAN-00 13:50:57  
 PK = .7398  
 PK(+) = 1.30  
 PK(-) = .8376  
 CRESTF= 2.48

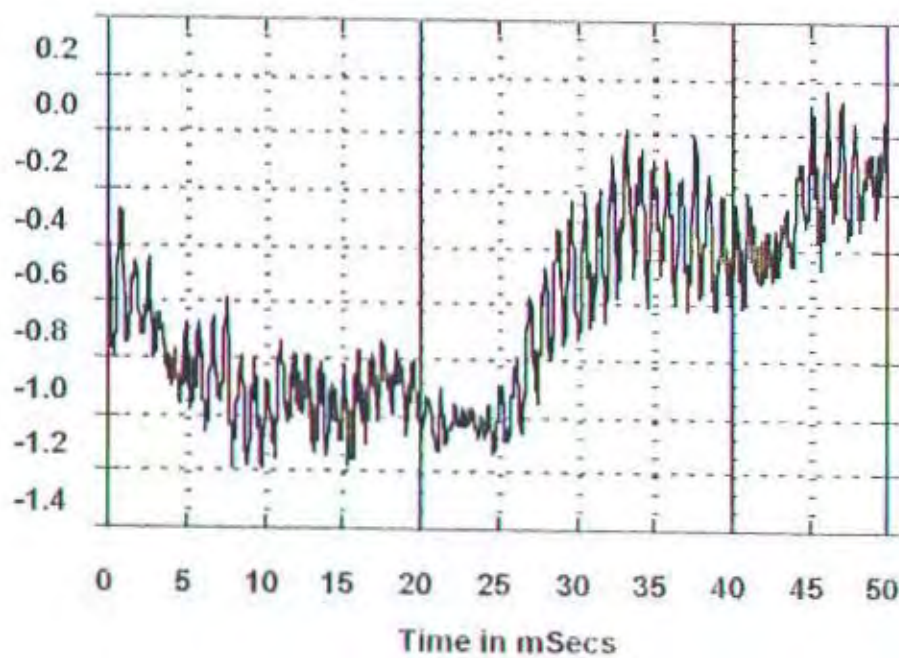
Freq: 1072.5  
 Ordr: 21.45  
 Spec: .02429

# PCVH T3 -R2H RIGHT 2 HIGH

RMS Acceleration in G-s

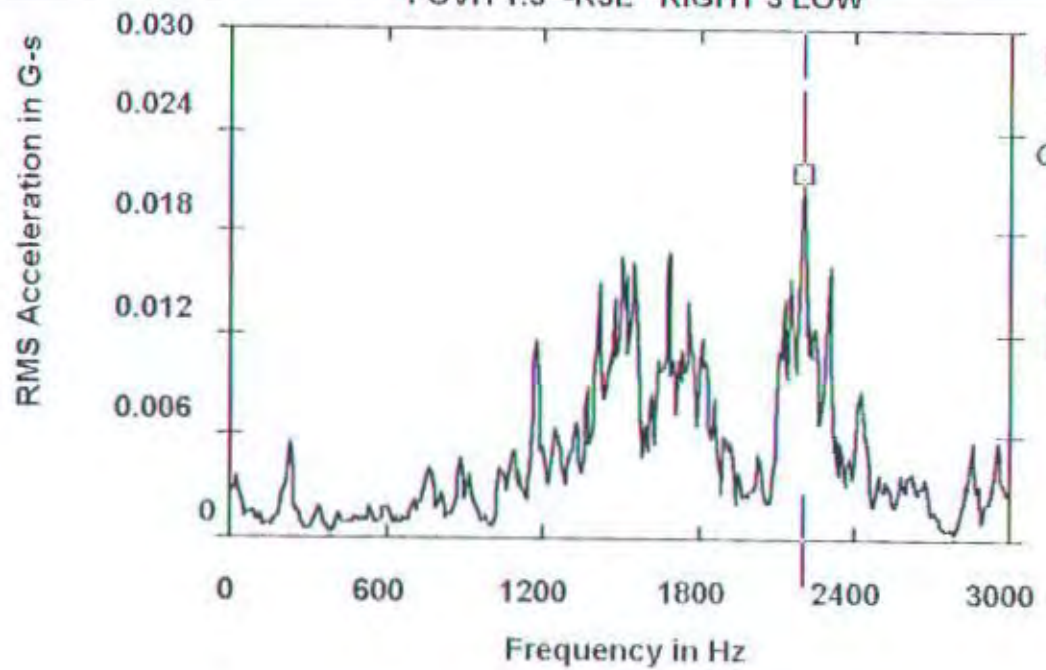


Velocity in mm/Sec

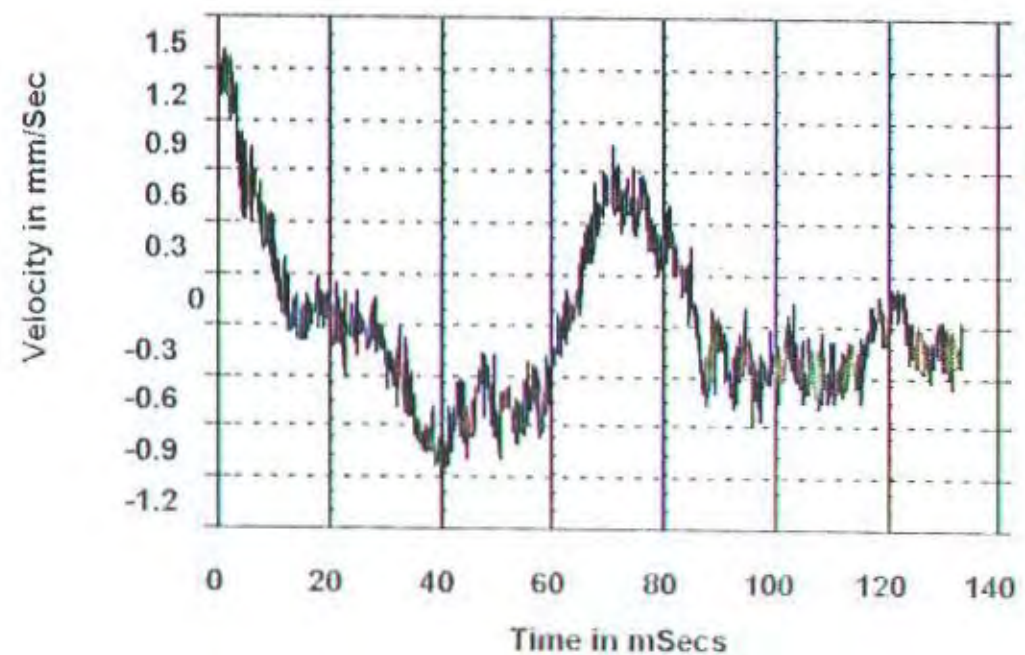


Freq: 7300.0  
Ordr: 146.00  
Spec: .05640

PCVIT.5-RSE RIGHT 3 LOW



ROUTE SPECTRUM  
 31-JAN-00 14:02:16  
 OVRALL= .7862 V-AN  
 RMS = .1017  
 LOAD = 100.0  
 RPM = 3000.  
 RPS = 50.00



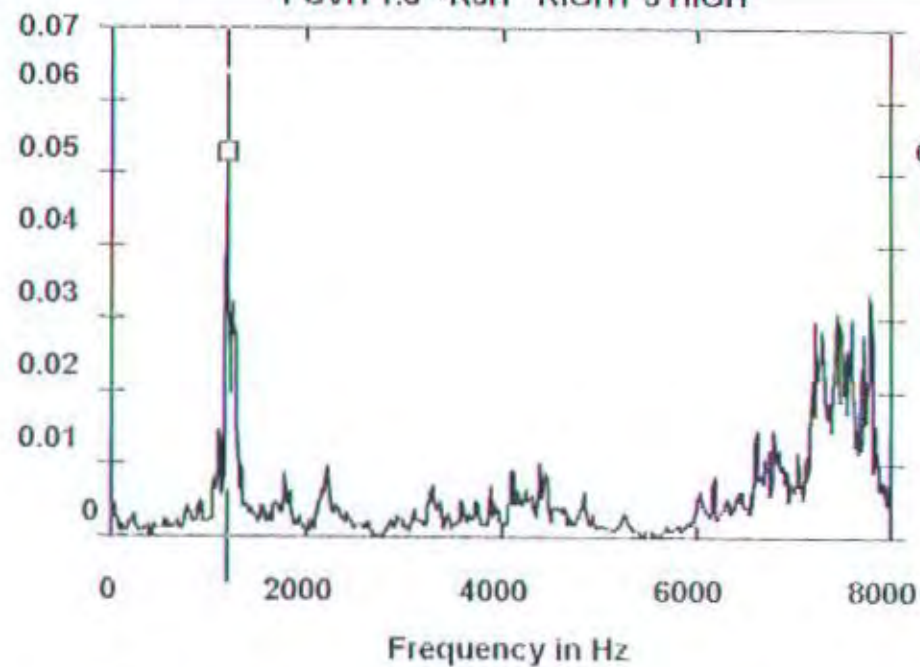
ROUTE WAVEFORM  
 31-JAN-00 14:02:16  
 PK = .6618  
 PK(+) = 1.61  
 PK(-) = .9241  
 CRESTF= 3.43

Freq: 2197.5  
 Ordr: 43.95  
 Spec: .02100

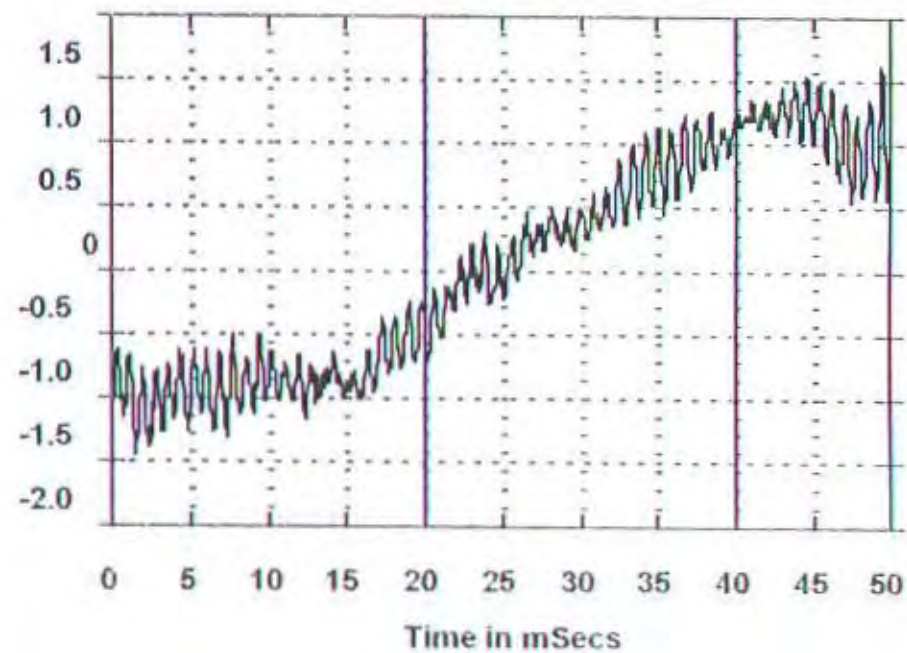


# PCVIT.3 -R3H RIGHT 3 HIGH

RMS Acceleration in G-s

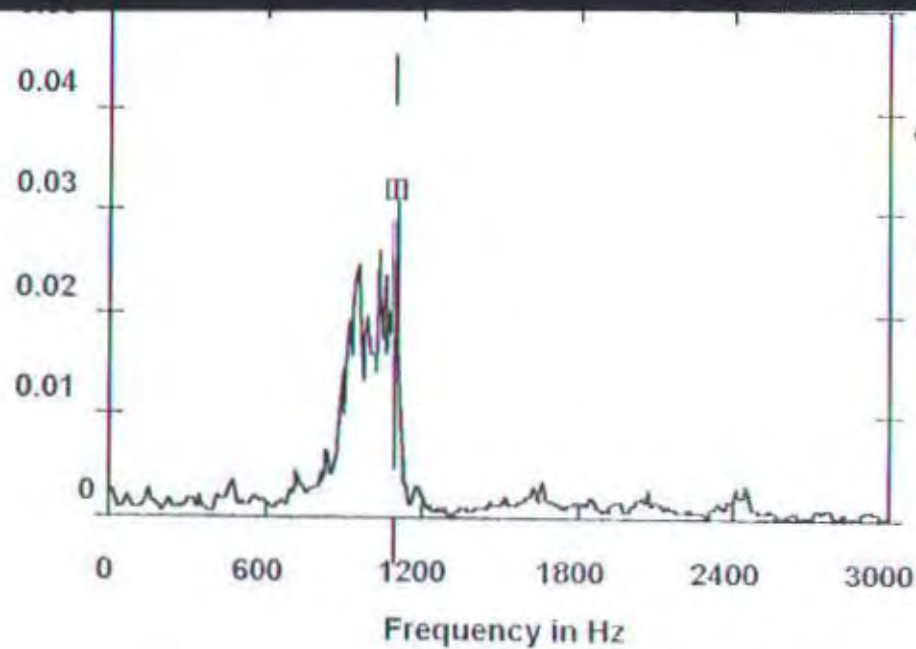


Velocity in mm/Sec

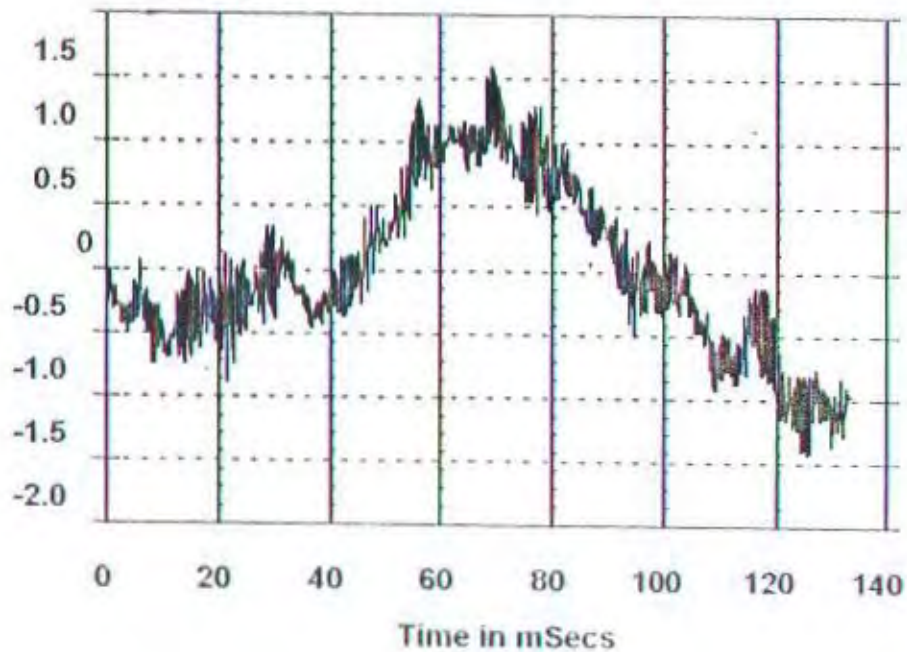


Freq: 1180.0  
Ordr: 23.60  
Spec: .05151

RMS Acceleration in G-s

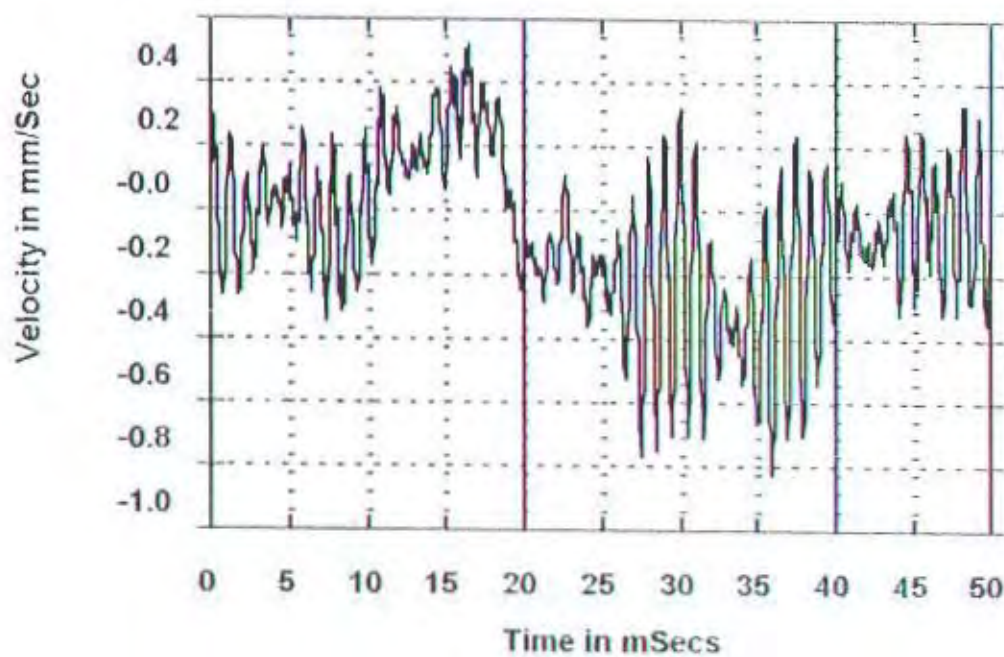
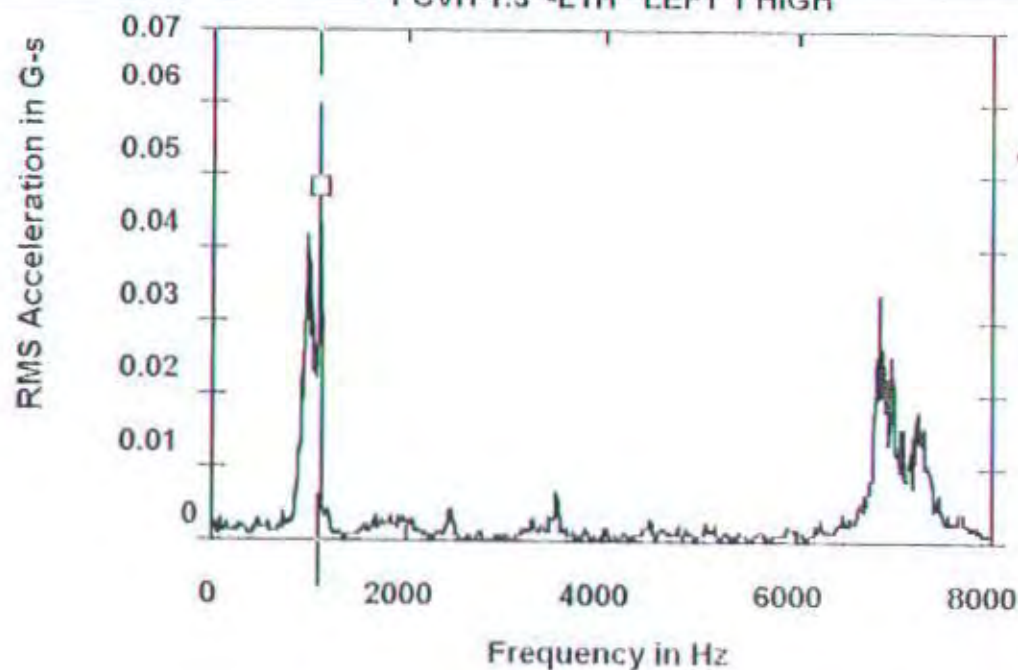


Velocity in mm/Sec



Freq: 1095.0  
Ordr: 21.90  
Spec: .03113  
Dfrq: .00000

# PCVIT-3-ETH LEFT THIGH

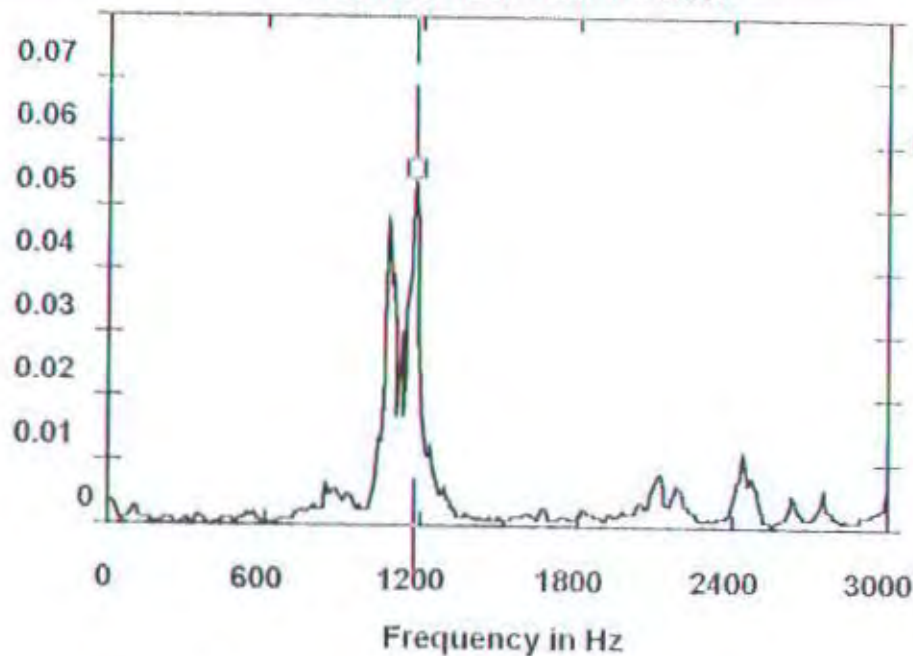


Freq: 1100.0  
 Ordr: 22.00  
 Spec: .04712

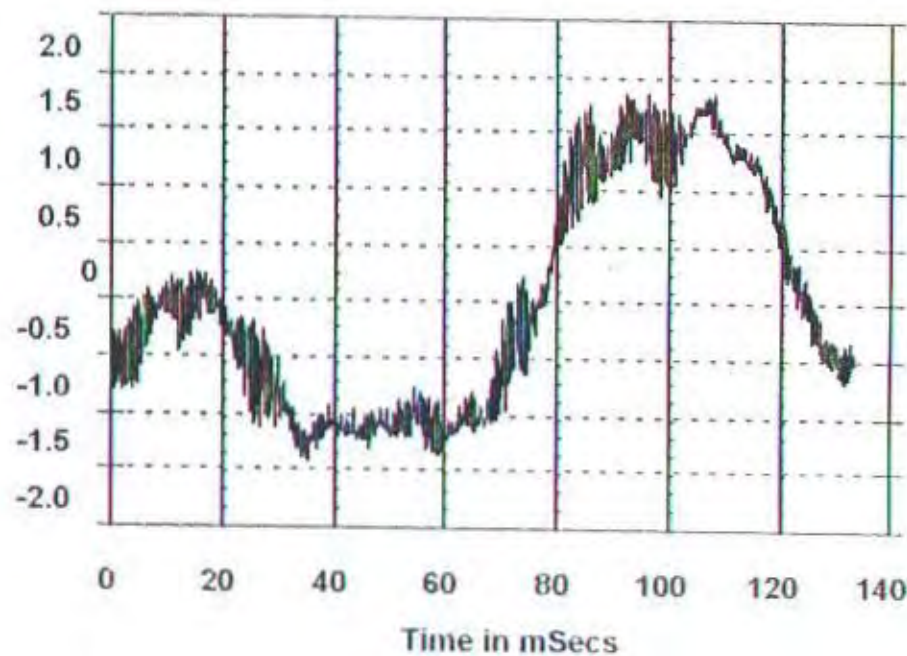


PCV11.3 -E2L LEFT 2 LOW

RMS Acceleration in G-s



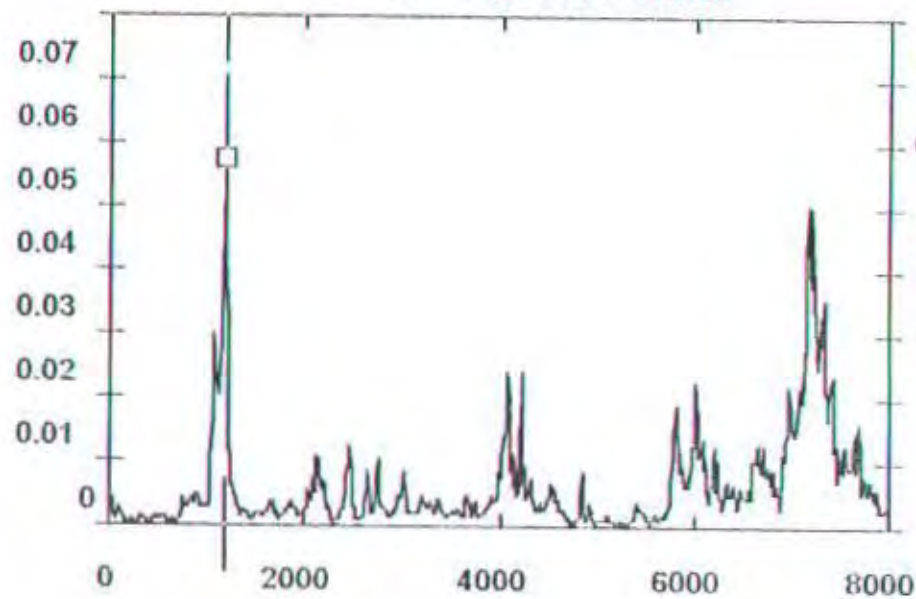
Velocity in mm/Sec



Freq: 1177.5  
Ordr: 23.55  
Spec: .05469

FOURTH LEFT LEFT 2 HIGH

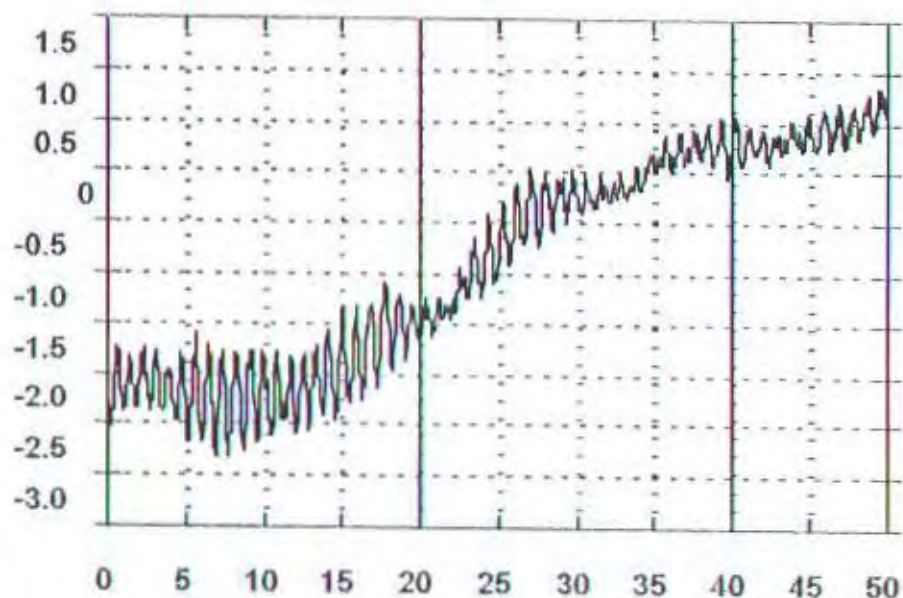
RMS Acceleration in G-s



ROUTE SPECTRUM  
31-JAN-00 13:55:32  
OVRALL= .9808 V-AN  
RMS = .2319  
LOAD = 100.0  
RPM = 3000.  
RPS = 50.00

Frequency in Hz

Velocity in mm/Sec

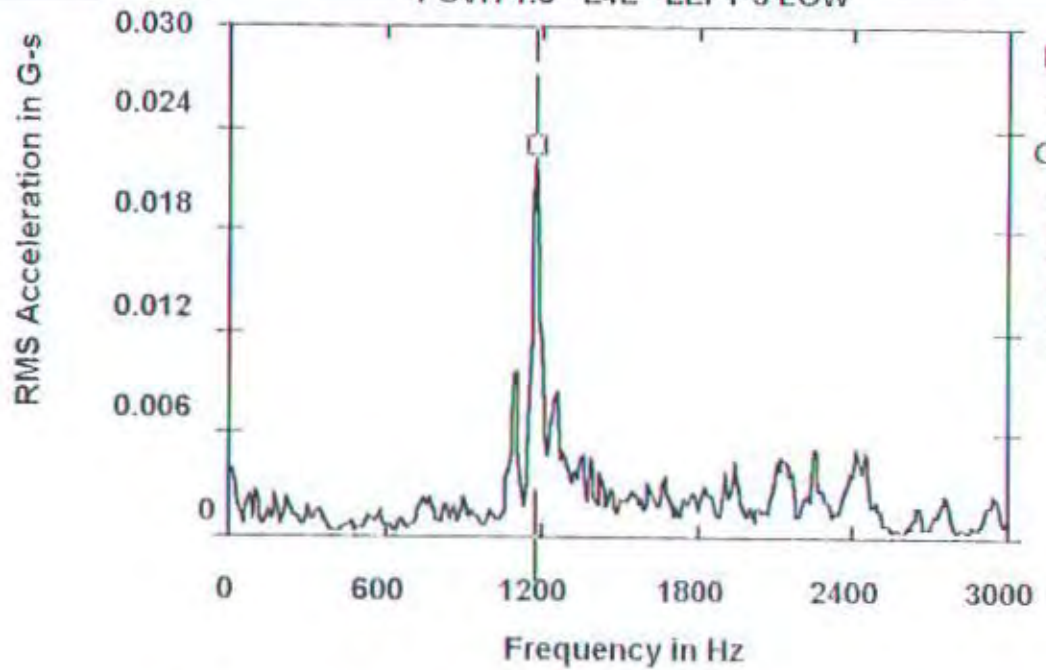


ROUTE WAVEFORM  
31-JAN-00 13:55:32  
PK = 1.52  
PK(+) = 1.73  
PK(-) = 1.95  
CRESTF= 1.81

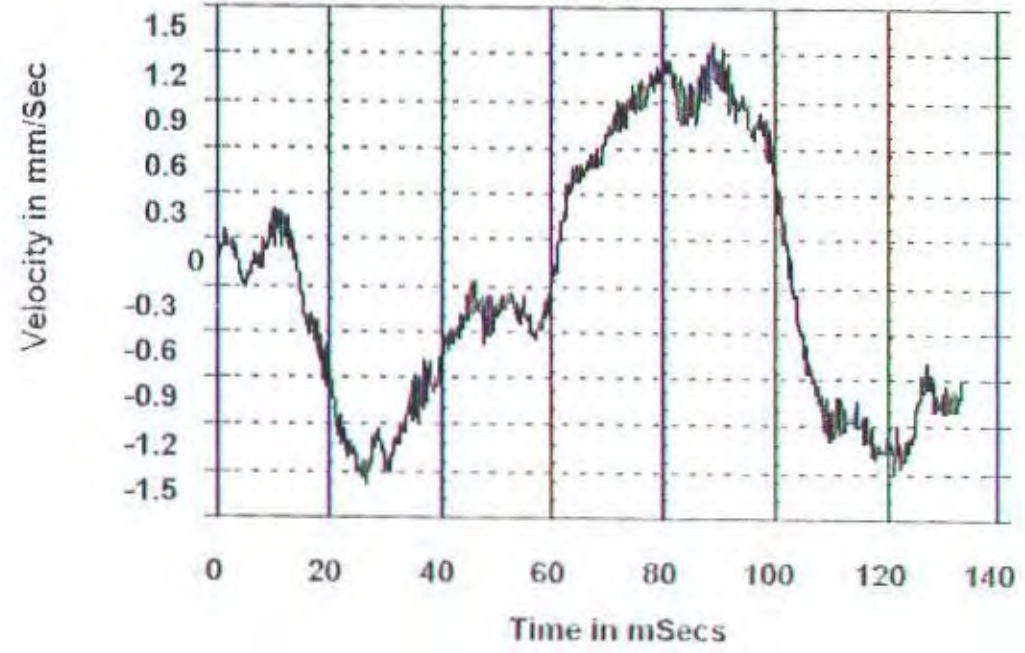
Time in mSecs

Freq: 1180.0  
Ordr: 23.60  
Spec: .05640

1000 Hz - 44 - LEFT SLOW



ROUTE SPECTRUM  
31-JAN-00 14:00:44  
OVRALL= .7081 V-AN  
RMS = .0526  
LOAD = 100.0  
RPM = 3000.  
RPS = 50.00

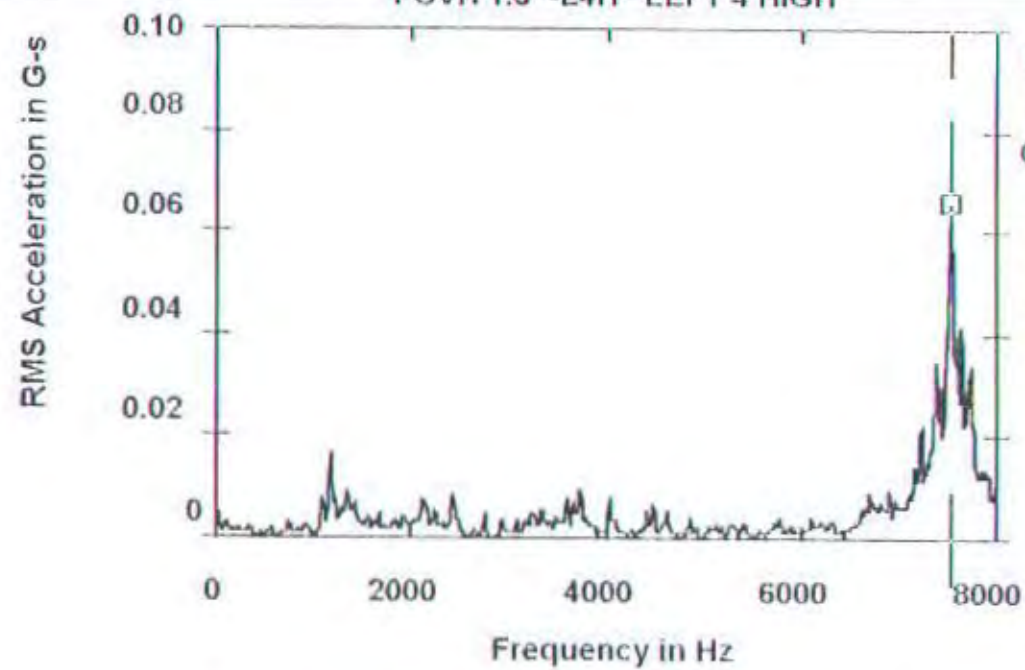


ROUTE WAVEFORM  
31-JAN-00 14:00:44  
PK = 1.17  
PK(+) = 1.59  
PK(-) = 1.29  
CRESTF= 1.92

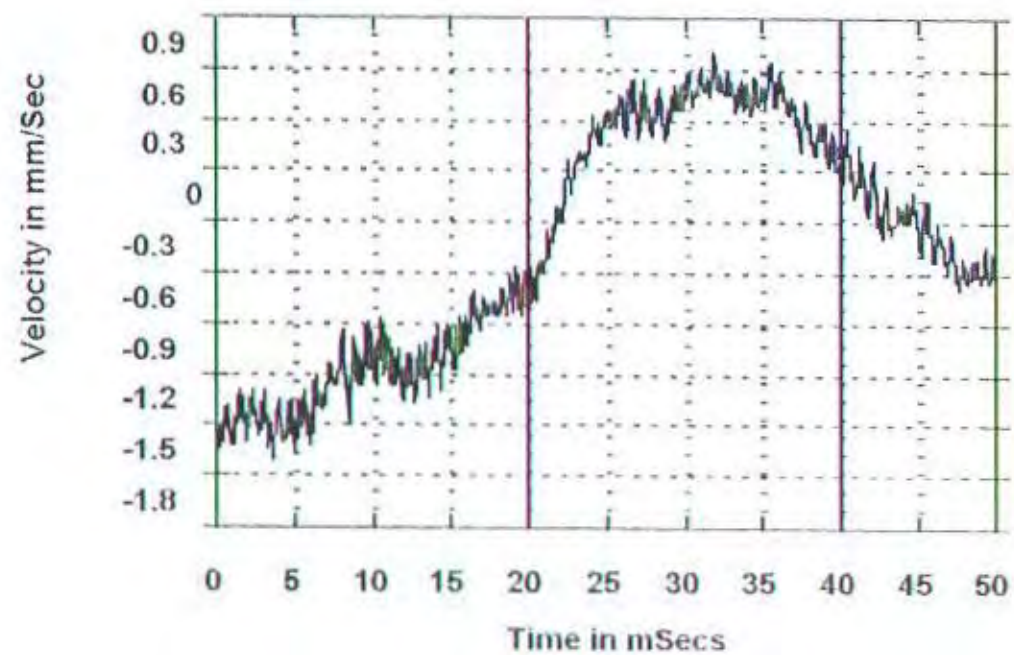
Freq: 1177.5  
Ordr: 23.55  
Spec: .02246



PCVIT.3 -L4H LEFT 4 HIGH



ROUTE SPECTRUM  
31-JAN-00 14:01:20  
OVRALL= .7462 V-AN  
RMS = .2185  
LOAD = 100.0  
RPM = 3000.  
RPS = 50.00



ROUTE WAVEFORM  
31-JAN-00 14:01:20  
PK = .9877  
PK(+) = 1.14  
PK(-) = 1.28  
CRESTF= 1.83

Freq: 7510.0  
Ordr: 150.20  
Spec: .06445



### TUGAS AKHIR KS 1701

Nama : HARIS HANDIKO  
Nrp. : 4294 100 015  
Dosen Pembimbing : Ir. Moch. Orianto, MSc.  
Tanggal Tugas Diberikan : 15 September 1999  
Tanggal Tugas Diselesaikan :  
Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Tentang *Predictive Maintenance* Pada *Control Valve* Sistem Instalasi Turbin Uap DI PJB 2 – PT. PLN Gresik-surabaya.

Dosen Pembimbing,

Moch. Orianto, MSc  
IP. 1

Mahasiswa,

HARIS HANDIKO  
NRP. 4294100009

Surabaya, .....

Ketua Jurusan,

Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng  
NIP. 131 407 591

Buat rangkap 4 ( empat ) untuk :

- Arsip Jurusan TSP
- Dosen Pembimbing ybs.
- Mahasiswa ybs
- Koordinator T.A. – TSP



## LEMBAR KEMAJUAN Pengerjaan Tugas Akhir ( KS 1701 )

Nama : HARIS HANDIKO  
NRP : 4294 100 015  
Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Tentang *Predictive Maintenance* Pada *Control Valve* Sistem Instalasi Turbin Uap Di PJB 2 – PT. PLN Gresik-Surabaya.  
Dosen Pembimbing : 1) Ir. Moch. Orianto, MSc.  
2) Ir. Made Ariana, Mt.

No.	Tanggal	Kegiatan	Paraf Dosen
1	18 SEPT 1999	konsultasi judul Tugas Akhir	R
2	25 SEPT 1999	konsultasi data ** yg diperlukan	R
3	1 NOV 1999	Asistensi data ** yg telah diperoleh	R
4	8 NOV 1999	Asistensi pendahuluan	R
5	26 NOV 1999	Konsultasi dasar teori dan analisis data	R
6	27 NOV 1999	konsultasi persiapan magu p <sub>2</sub>	R
7	4 JAN 2000	Konsultasi data	R
8	18 JAN 2000	Perbaikan dasar teori	R
9	25 JAN 2000	Metodologi dan instrumentasi	R
10	31 JAN 2000	konsultasi Perbaikan data	R
11	3 FEB 2000	Analisa dan pembahasan	R
12	4 FEB 2000	Analisa dan pembahasan (dipertajam)	R
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

Catatan :

1. Mahasiswa siap/tidak siap/dibatalkan \*) untuk diujikan.
2. Catatan lain yang dianggap perlu :

Dosen Pembimbing 1,

Ir. Moch. Orianto, MSc  
NIP. 130 786 955

Surabaya, .....

Dosen Pembimbing 2,

Ir. Made Ariana, Mt  
NIP. 132 133 991

\*) coret yang tidak perlu





## LEMBAR EVALUASI PRESENTASI PROPOSAL (P-1) TUGAS AKHIR

Setelah membaca, menimbang dan mempelajari Presentasi Proposal Tugas Akhir yang dilaksanakan oleh:

Nama / NRP : Haris Handiko/94-015  
Judul Proposal : Studi tentang predictive maintenance pada  
central valve

Maka Tim Dosen Penilai memutuskan bahwa proposal TA tersebut di atas :

- ☒ A. Diterima tanpa perbaikan.  
☒ B. Diterima dengan perbaikan / syarat.  
☐ C. Tidak diterima

Untuk itu diusulkan calon Dosen Pembimbing sebagai berikut :

1. M. Prianto 2. Made Ariana

Catatan / Perbaikan mengenai Proposal Tugas Akhir tersebut adalah sebagai berikut (bila diperlukan, dapat dilanjutkan pada halaman kosong dibalik) :

- judul berubah : Studi eksperimental tentang  
Predictive Maintenance pada Turbin Uap  
di PT B2 - PT PLN Gresik Surabaya

Surabaya, 16-9-99  
Menyetujui Tim Dosen Penilai :

Nama	
1. <u>Nayan Iyga</u>	(Ketua Tim)
2. <u>Dinar yana</u>	(Anggota)
3. <u>Made A</u>	(Anggota)
4. <u>Pris. P.H</u>	(Anggota)
5. <u>Kem. B.</u>	(Anggota)
6. <u>Masroeri</u>	(Anggota)

Tanda Tangan

1. <u>[Signature]</u>	2. <u>[Signature]</u>
3. <u>[Signature]</u>	4. <u>[Signature]</u>
5. <u>[Signature]</u>	6. <u>[Signature]</u>

Tanda tangan mahasiswa



## LEMBAR EVALUASI PRESENTASI INTERIM (P-2) TUGAS AKHIR

telah membaca, menimbang dan mempelajari Presentasi II Tugas Akhir yang dilaksanakan oleh:

Nama / NRP : HARIS

Judul Tugas Akhir : .....

.....

.....

.....

Pembimbing : 1) OMANDO

2) .....

Tim Dosen memutuskan mahasiswa tersebut di atas :

Langsung mengikuti Presentasi Akhir Istimewa (P-3+) pada tanggal 03/12/1999

Melanjutkan penulisan TA dan mengikuti Presentasi Akhir Reguler (P-3) pada tanggal 05/02/2000

Melanjutkan penulisan TA dan mengikuti Presentasi Interim (P-2) pada semester berikutnya

Membatalkan penulisan Tugas Akhir tersebut.

Hal yang perlu diperbaiki dalam Tugas Akhir tersebut adalah: (bila diperlukan, dapat dilanjutkan pada halaman kosong dibalik)

Wabaya 29/12/99

Menyetujui Tim Dosen Penilai :

Nama

OMANDO

AGUS ZUHRI

SAHAR

AMIR

JOCK SUDIRAJITNO

TAUFIK FADAR

(Ketua Tim)

(Anggota)

(Anggota)

(Anggota)

(Anggota)

(Anggota)

Tanda Tangan

1. [Signature]

2. [Signature]

3. [Signature]

4. [Signature]

5. [Signature]

6. [Signature]

Tanda Tangan Mahasiswa [Signature]